

T
622.342
R696



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra



**"ESTUDIO MINERALURGICO DE CONCENTRACION GRAVIMETRICA
Y DE FLOTACION PARA LA RECUPERACION DE ORO A PARTIR
DE ARENAS CIANURADAS DE LA COMPAÑIA ORENAS S.A."**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del TITULO de
INGENIERO DE MINAS**

**Presentado por:
Bolívar Wilfrido Rodríguez Ceferino**

Guayaquil . Ecuador

1 9 9 6

DEDICATORIA

**A MIS PADRES
A MIS HERMANOS
A MI FAMILIA**

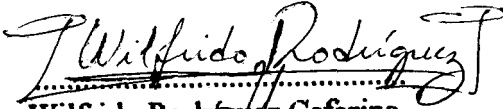
AGRADECIMIENTO

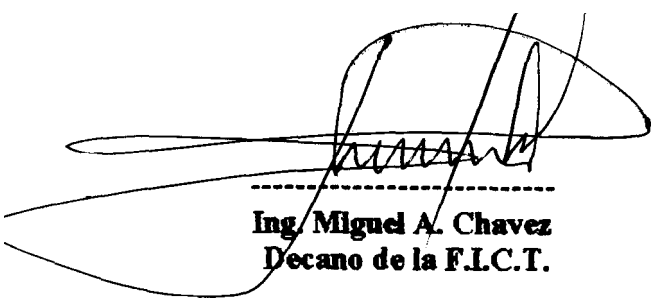
- Al **Ing. Jorge Velasco**, Director de Tesis.
- Al **Ing. Diego Pimentel** y a todos los miembros de la compañía **ORENAS S.A.**
- Al **Ing. Iván Endara** y personal del Laboratorio de la **CODIGEM**.
- Al **Ing. Galo Montenegro** y al **Ing. Guillermo Toda**, de los laboratorios de Geología de **PETROECUADOR**.
- Al **Ing. Cfabriel Proaño**, Gerente de **CYTEC** por los reactivos y bibliografía de flotación facilitados.
- A todos las personas que de **manera** directa o indirecta colaboraron con la realización y finalización del presente estudio.

DECLARACION EXPRESA

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

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

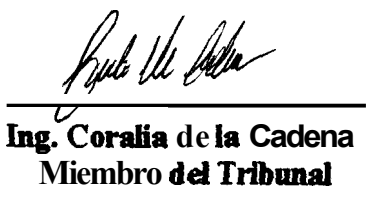

Wilfrido Rodríguez Ceferino.



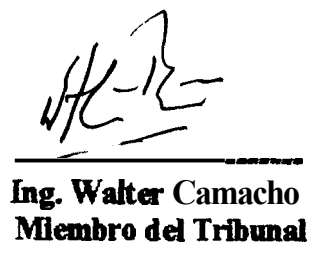
Ing. Miguel A. Chavez
Decano de la F.I.C.T.



Ing. Jorge Velasco
Director de Tesis



Ing. Coralía de la Cadena
Miembro del Tribunal



Ing. Walter Camacho
Miembro del Tribunal

RESUMEN

El presente estudio investiga la concentración de minerales portadores de oro, a partir de relaves de arenas auríferas refractarias, ya cianuradas, con el objeto de buscar un proceso que técnica y económicamente sea factible para optimizar los recursos auríferos con los que cuenta el sector minero de Ponce Enríquez.

El objetivo fundamental del trabajo, es el de diagramar las rutas de un proceso metalúrgico, basados en pruebas de laboratorio, con las que se puedan examinar las posibilidades de éxito y constituirse en el paso previo de investigaciones a mayor escala con miras a un proceso industrial.

El punto de partida es la evaluación de arenas cianuradas de la compañía Orenas, encontrándose reservas por **47000** toneladas métricas y niveles de oro total que van desde **2.58 gr/Tm** hasta **4.98 gr/Tm**. Un cálculo conservador del contenido de oro total en las reservas, demuestra que existen alrededor de **130 Kg** del metal precioso.

El estudio microscópico de las muestras revela la presencia de un **30%** de sulfuros, principalmente de hierro y arsénico. Mientras que el 70% restante está constituido por silicatos y carbonatos. Los metales preciosos: oro y plata; están asociados mayoritariamente con los sulfuros de hierro y en menor cantidad con el cuarzo.

Los resultados de las pruebas de cianuración intensiva, tanto a la granulometría natural de las arenas (**44% -200 Mesh**) como sometidas a una conminución por 30 minutos (**90% -200 Mesh**) establecen que sin moler, existen **0.5 gr/Tm** de oro cianurable valor que se incrementa al doble por efecto de molienda

Las pruebas de concentración en mesa, indican recuperaciones del **55% al 65%** de oro total con razones de concentración de **5.65 a 1** y de **3.10 a 1** respectivamente. De igual manera la concentración por flotación presenta recuperaciones en el orden del **70% al 80%** y razones de concentración de **4.31 a 1** y **3.61 a 1** respectivamente.



INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	.IX
INDICE DE DIAGRAMAS.....	.X
INDICE DE TABLAS.....	.XI
INDICE DE FOTOGRAFIAS.....	XII
ABREVIATURAS.....	XIII
INTRODUCCION.....	XV

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Localización y vía de acceso.....	16
1.2 Diagrama de flujo de obtención de arenas.....	17
1.3 Almacenamiento de las arenas cianuradas.....	17

CAPITULO II

MUESTREO

2.1 Levantamiento topográfico de la presa de arenas cianuradas.....	20
2.2 Muestreo sistemático de las arenas cianuradas.....	20
2.2.1 Distribución de la red de muestreo.....	21
2.2.2 Equipo de muestreo.....	21
2.2.3 Procedimiento para la toma de muestras.....	.21
2.2.4 Preparación de las muestras para ensayos y análisis.....	22

CAPITULO III

CARACTERIZACION DE LAS ARENAS CIANURADAS

3.1 Mineralogía	26
3.1.1 Láminas delgadas y pulidas	27
3.1.2 Análisis cualitativo por rayos X	27
3.1.3 Asociación mineral	28
3.2 Estudio fisico-químico	29
3.2.1 Determinación de las propiedades físicas	29
3.2.1.1 Densidad.	29
3.2.1.2 Peso volumétrico	30
3.2.1.3 Humedad.	31
3.2.2 Análisis químico de elementos.....	31
3.2.3 Análisis granulométrico	31

CAPITULO IV

EVALUACION DE RESERVAS

4.1 Cálculo de reservas	38
4.1.1 Volumen y tonelaje.....	38
4.1.2 Leyes de oro en el muestreo	39
4.1.3 Ley ponderada de oro.....	39
4.1.4 Cálculo del contenido total de oro y plata	39

CAPITULO V

PRUEBAS DE REFRACTARIEDAD EN ARENAS CIANURADAS

5.1 Características de la refractariedad	44
5.2 Ensayos de cianuración	46
5.3 Resultados	48
5.4 Análisis de resultados	48

CAPITULO VI

PRUEBAS DE CONCENTRACION GRAVIMETRICA

6.1 Mesa vibratoria	52
6.1.1 Principios básicos	52
6.1.2 Parámetros de la mesa	55

6.1.3 Pruebas de laboratorio.....	55
6.1.4 Resultados.....	58
6.2 Otros ensayos.....	58
6.2.1 Espiral.....	58
6.2.1.1 Resultado.....	60
6.2.2 Concentrador centrífugo Knudsen Bowl.....	60
6.2.2.1 Resultado.....	62
6.3 Análisis de resultados.....	62

CAPITULO VII

PRUEBAS DE CONCENTRACION POR FLOTACION

7.1 Parámetros de flotación.....	69
7.1.1 Molienda-Grannilometría.....	70
7.1.2 Densidad de pulpa.....	71
7.1.3 pH de la pulpa.....	71
7.1.4 Calidad del agua.....	71
7.1.5 Temperatura.....	72
7.1.6 Tiempo de acondicionamiento y flotación.....	72
7.2 Reactivos Utilizados.....	73
7.2.1 Modificador de pH.....	73
7.2.2 Activador y depresor.....	73
7.2.3 Colectores.....	75
7.2.4 Espumante.....	78
7.3 Flotación directa (Bulk) del mineral.....	79
7.3.1 Pruebas de laboratorio.....	79
7.3.2 Resultados.....	83
7.4 Análisis de resultados.....	83

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
-------------------------------------	----

ANEXOS.....	88
-------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	122
-------------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura .	Pág.
1. Mapa de ubicación y vía de acceso a ORENAS S.A.	18
2. Levantamiento topográfico de la presa de arenas cianuradas	124
3. Distribución de los pozos para muestreo	25
4. Curva granulométrica de las arenas	37
5. Cálculo de reservas por áreas de influencia.....	40
6. Curva del tiempo de molienda vs % -200 Mesh.....	49
7. Esquema de operación para la planta piloto de concentración y recuperación.....	107

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama.	Pág.
1. Flujo para la obtención de arenas y procesamiento aplicado en ORENAS S.A.....	19
2. Resumen de resultados metalúrgicos.....	103
3. Flujo metalúrgico (Planta piloto), empleando mesas concentradoras.....	104
4. Flujo metalúrgico (Planta piloto), utilizando flotación.....	105
5. Flujo metalúrgico (Planta piloto), combinando mesa concentradora y flotación..	106

INDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Resumen del informe microscópico RSL/3 19 de los Laboratorios Robertson.....	32
2. Densidad.....	33
3. Peso volumétrico	33
4. Humedad.....	33
5. Análisis químico de la muestra del compuesto de arenas cianuradas	34
6. Análisis granulométrico	35
7. Distribución de oro por fracción granulométrica	36
8. Leyes de oro en muestras obtenidas de los pozos.....	41
9. Cálculo de reservas y ley ponderada de oro.....	42
10. Contenido total de oro y plata en las reservas.....	43
11. Tiempo de molienda vs % -200 Mesh.....	49
12. Cianuración de arenas sin moler y moliendo.....	50
13. Resultados de cianuración por sectores.....	51
14. Prueba #1 de concentración en mesa	64
15. Prueba #2 de concentración en mesa	64
16. Prueba #3 de concentración en mesa	65
17. Prueba #4 de concentración en mesa	65
18. Condiciones de operación de la mesa para cada prueba	66
19. Resumen de resultados metalúrgicos de la concentración en mesa	66
20. Resultados de la concentración en la espiral.....	67
21. Resultados del concentrador centrífugo Knudsen Bowl.....	68
22. Modificadores de pH	74
23. Pruebas de flotación a pH=6, balance metalúrgico.....	89
24. Pruebas de flotación a pH=7, balance metalúrgico.....	90
25. Pruebas de flotación a pH=8, balance metalúrgico.....	91
26. Pruebas de flotación a pH=9, balance metalúrgico.....	92
27. Pruebas de flotación a pH=10, balance metalúrgico.....	93
28. Pruebas de flotación a pH=11, balance metalúrgico.....	94
29. Prueba de flotación combinando KAX-AERO-31, balance metalúrgico	95
30. Prueba de flotación combinando KAX-AERO-208, balance metalúrgico.....	96
31. Prueba de flotación combinando KAX-AERO-3477, balance metalúrgico.....	97
32. Prueba de flotación combinando KAX-AERO-400, balance metalúrgico.....	98
33. Prueba de flotación combinando KAX-AERO-407, balance metalúrgico.....	99
34. Prueba de flotación variando el tiempo de flotación	100
35. Prueba de flotación variando el tiempo de flotación	101
36. Análisis químico de los concentrados.....	102

INDICE DE FOTOGRAFIAS

Foto.	Pág.
1. Presa de arenas cianuradas y ubicación de pozos de muestreo	108
2. Pozo de muestreo #4	109
3. Láminas delgadas y pulidas.....	110
4. Microscopía electrónica.....	114
5. Pruebas de cianuración en botellas.....	116
6. Concentración en mesa	117
7. Flotación de sulfuros	118
8. Concentrado y cola de flotación.....	120
9. Planta piloto de concentración.....	121

INDICE DE ABREVIATURAS

ACUM	:	Acumulado
AERO-31	:	Aerofloat 31
AERO-208	:	Aerofloat 208
AERO-3477	:	Aerofloat 3477
AERO-400	:	Aerofloat 400
AERO-407	:	Aerofloat 407
A-65	:	Aerofroth 65
C.C	:	Criterio de concentración
C.LL	:	Carbón en lixiviación
[CN]	:	Concentración de cianuro de sodio
CODIGEM	:	Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalúrgica
CO₃Na₂	:	Carbonato de sodio
E	:	Este
KAX	:	Amil-Xantato de Potasio
M	:	Molido
N	:	Norte
NC	:	Nicoles cruzados
NP	:	Nicoles paralelos
Pág, PP	:	Página
pH	:	Potencial de Hidrógeno
PROM	:	Promedio
SiO₃Na₂	:	Silicato de Sodio
SM	:	Sin molar
SO₄H₂	:	Acido sulfúrico
REC	:	Recuperación
TEMP	:	Temperatura
UTM	:	Coordenada Universal Transversal de Mercator
V	:	Volumen
Wh	:	Peso húmedo
ws	:	Peso seco

UNIDADES

%	:	Porcentaje
°	:	Grados
°C	:	Grado centígrado
cc	:	Centímetro cúbico
cm	:	Centímetro
gr, grs	:	Gramos
hr, hrs	:	Horas
HP	:	Caballos de fuerza
Lt, Lts	:	Litros
Kg, Kgs	:	Kilogramos
Km	:	Kilómetros
mg	:	Miligramos
ml	:	Mililitros
mm	:	Milímetro
m.s.n.m.	:	Metros sobre del nivel del mar
mts	:	Metros
Plg, "	:	Pulgadas
RPM, rpm	:	Revoluciones por minuto
Tm	:	Tonelada métrica
um	:	Micras

INTRODUCCION

La factibilidad de beneficiar un mineral refractario aurífero con leyes bajas, donde el oro se encuentra en forma submicroscópica disperso principalmente dentro de la estructura cristalina de los sulfuros, demanda una objetiva atención en el campo técnico y económico, para minimizar los riesgos de tratamiento de un yacimiento pobre.

La proposición, es ya, una práctica normal en países tradicionalmente mineros, tanto por las alternativas de concentración, como por el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de minerales refractarios, tales como: biolixiviación, tostación y oxidación química en sus diversas formas. Sin embargo, el hecho de no contar con reservas suficientes nos obliga a buscar una forma combinada de tratamientos que puedan ser aplicables a la realidad del sector.

La metodología empleada, parte con una evaluación de las reservas existentes de arenas cianuradas en la planta de beneficio de la compañía Orenas buscando conocer el contenido de elementos metálicos, principalmente oro. Los análisis químicos de elementos tanto de las arenas como de concentrados y colas se determinaron en los laboratorios que posee Orenas y se respalda en datos confirmativos, para algunas muestras de control, en los laboratorios de la S.G.S y Bondar Clegg.

Las pruebas convencionales de cianuración realizadas en el laboratorio, nos permitieron conocer el comportamiento de las arenas, frente a un reprocesamiento cianurativo intenso, tanto en su condición granulométrica natural, como ante una reducción del tamaño producto de una remolienda

A nivel de pruebas de laboratorio, determinamos las mejores condiciones para concentrar sulfuros, tanto por: gravimetría como por flotación; para lograr: razones de concentración óptimas, con la máxima recuperación de oro.

Las investigaciones sobre este tema no están agotadas, toda propuesta esta sujeta a ser mejorada y sustentada en términos de rentabilidad. Esta debe ser tomada como una posible vía, de las muchas existentes, en el proceso de adaptación de tecnologías en el campo de la metalurgia del oro.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACION Y VIA DE ACCESO

La materia prima objeto de la presente investigación, son relaves de arenas cianuradas por la compañía Orenas S.A., cuya planta de beneficio está ubicada a 1 Km del caserío La López perteneciente a la parroquia Ponce Enríquez, en el cantón Pucará, provincia del Azuay.

Las coordenadas UTM donde se halla localizada la compañía son las siguientes:

9'658070 N
642510 E

Al sector se llega a través de la carretera Guayaquil-Machala, un kilómetro al sur de la parroquia Ponce Enríquez, desde allí se toma un camino lastrado en dirección Sur-Este, cuya longitud aproximada es de 6 kilómetros, que **finaliza** en los linderos de la compañía El tiempo de viaje desde **Guayaquil** hasta las instalaciones de Orenas S.A. es de aproximadamente 2 horas y 30 minutos. (Ver **figura #1**).

12 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OBTENCION DE ARENAS

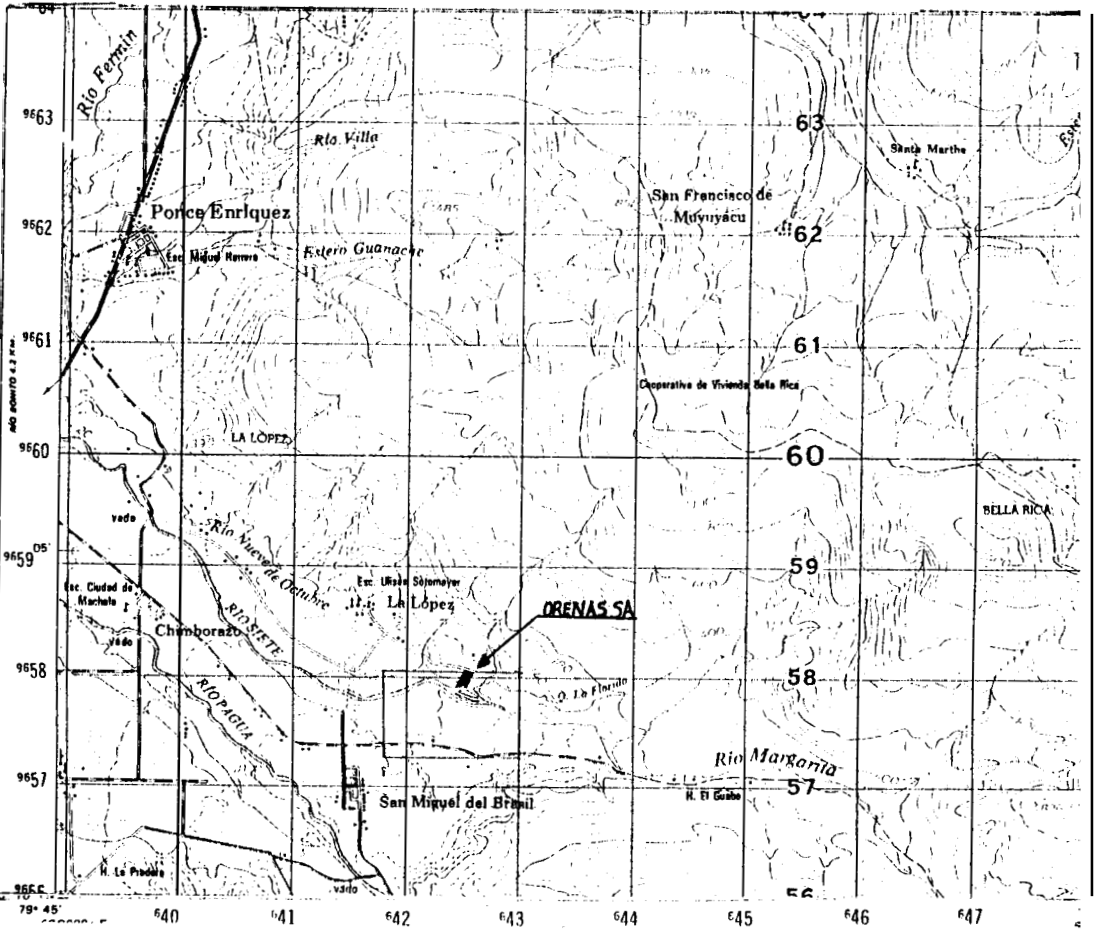
La Compañía Orenas trata **arenas** provenientes del distrito minero de Bella Rica (900m.s.n.m) desde el año de 1993, para ello, compra arenas (colas de canalón) en distintas sociedades y las **transporta** en pulpa, utilizando una tubería de 2 pulgadas y el desnivel existente hasta la planta de **tratamiento** (120m.s.n.m), luego **esta pulpa** es almacenada en piscinas de sedimentación **según** su procedencia

Orenas posee **una** capacidad de procesamiento nominal de 60 toneladas al día, aplica a la pulpa un pretratamiento oxidativo con cal **durante** 3 horas. La lixiviación del oro se efectúa en **tanques** tipo Dorr (capacidad: 25 m³) y **dura** de 18 a 24 horas con **una** fuerza de cianuro de sodio de 1 **gramo** por litro. La pulpa es regulada con cal y **mantenida** a un **pH** entre 10.5 y 11. La recuperación de oro se **realiza** mediante el proceso C.I.L (Carbon In Leach). **Tanto** en el pretratamiento como en la lixiviación-adsorción se aporta **aire** comprimido. (Ver **diagrama #1**).

1.3 ALMACENAMIENTO DE ARENAS CIANURADAS

Finalizado el proceso cianurativo (C.I.L) de **lixiviación-adsorción**, estas arenas son conducidas a **una** presa donde se acumulan con fines de un **futuro** tratamiento.

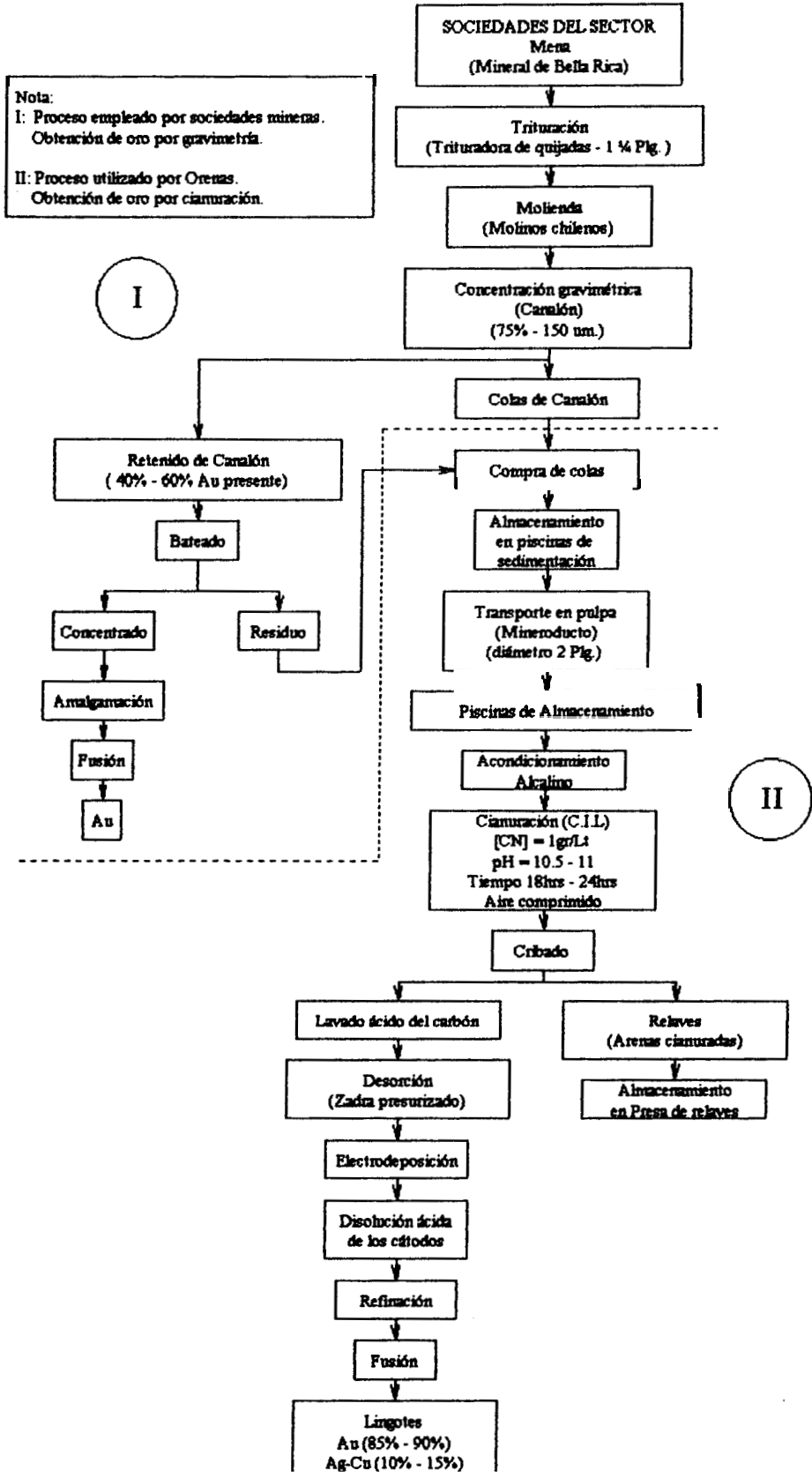
La presa &e adecuada (movimiento de suelo, impermeabilización, construcción de taludes, **ductos para rebose**) desde los **inicios** de operación de Orenas. Posee **3500** metros cuadrados y almacena cerca de **47000** toneladas. (Ver **foto #1**).



ESCALA: 1: — 50000

FIG. 1. MAPA DE UBICACION Y VIAS DE ACCESO A ORENAS S.A.

DIAGRAMA #1: OBTENCION DE ARENAS Y PROCESO METALURGICO APLICADO EN ORENAS



CAPITULO II

MUESTREO

2.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LA PRESA DE ARENAS CIANURADAS

Se presenta un plano que comprende un **área** aproximada de **27000 m²** donde está incluida la presa de **arenas cianuradas (3500 m²)** y su entorno. **Fueron** necesarios cinco puntos para el **levantamiento**, empleando un teodolito marca **SOKKIA** y una **estadia**. La escala del plano es de **1:500**. (Ver **figura #2**).

2.2 MUESTREO SISTEMATICO DE LAS ARENAS CIANURADAS

Se realizaron análisis **sobre una fracción** o muestra del mineral de tal manera que las **particularidades físicas o químicas** de todas las **menas cianuradas** puedan estimarse estudiando las características de la **muestra**.

2.2.1 DISTRIBUCION DE LA RED DE MUESTREO

Seis pozos fueron excavados con el fin de efectuar el muestreo: cuatro pozos **estaban** ubicados con un espaciamiento de **aproximadamente** 30 metros **uno** del otro, de **tal** forma **que** cubrían longitudinalmente **gran** parte de la presa **y** dos pozos de muestreo complementarios de características idénticas a los anteriores, con influencia en las **las** intermedias entre ellos. (Ver figura #3). Los seis pozos de muestreo **tenían** forma **cuadrada** de 2 metros por cada lado. Ya que la profundidad media de la presa es de 3 metros **se** procedió a brindar sostenimiento **a** las paredes **enmaderando** con **cuartones y** tablones. (Ver foto #2).

2.2.2 EQUIPO DE MUESTREO

EQUIPO.- El equipo **y** materiales utilizados fueron:

- Bomba (marca: HONDA, diámetro: 2", potencia. 5 HP)
- Cuartones de 2" X 2"
- Tablones de 2" de espesor
- **Palas**
- Clavos
- **combo**
- **Sacos** codificados

2.2.3 PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS

En cada pozo, las **muestras** se tomaron por niveles de profundidad, para ello codificamos las muestras considerando un primer **número** **que** representaría el pozo muestreado **y** un **segundo** número **que** representaría el nivel muestreado. Los niveles muestreados **se** establecieron con el siguiente criterio:

- Desde la superficie **al** primer metro . **NUMERO DE NIVEL : 1**
- Desde el **primer** metro **al** segundo **metro**. **NUMERO DE NIVEL : 2**
- Desde el segundo metro **al** tercer metro. **NUMERO DE NIVEL : 3**

Ejemplo: código de muestreo **42**: significa que la muestra fue tomada del cuarto pozo en su nivel **2**, que va del primer al segundo metro.

El muestreo fue realizado de la siguiente manera:

Por cada nivel de cada pozo **se** tomaron **4** muestras **una** a cada lado del **mismo**, cada muestra con aproximadamente **25 Kg** (húmedos). El peso de la muestra total en los seis pozos arroja **1.5 toneladas**.

22.4 PREPARACION DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYOS Y ANALISIS

PREPARACION PRELIMINAR GENERAL.- Toda muestra de arena es secada, homogenizada y cuarteada.

-El secado se lo realiza a temperatura baja (menor a 100°C) sobre planchas metálicas cuyo suministro de calor es dado por hornillas industriales.

-La homogenización se efectúa manualmente por roleo o con pala, si el volumen de muestra es grande. De ser necesario se disgregan grumos con un rodillo.

-Si la muestra es de gran volumen, se utiliza el cuarteador Jones.

PREPARACION DE UN COMPOSITO DE ARENAS.- Se elaboró un compuesto de arenas cianuradas con las **18** muestras de los pozos. El objetivo es disponer de un conjunto de muestras que represente el total de arenas almacenadas con su granulometría natural para pruebas posteriores.

Para obtener el compuesto, mezclamos **50 Kg** de cada una de las **18** muestras secas. Por lo que en total se dispone de **900 Kgs**, que nos permite ejecutar pruebas a pequeña y mediana escala

PREPARACION PARA ENSAYOS AL FUEGO

a) ARENAS CIANURADAS MUESTREADAS

1.- **Se** toma una **muestra** seca representativa aproximadamente **1 Kg**, luego se pulveriza en molino de bolas (carga de bolas: **10 Kgs**) durante 30 minutos.

2.- Se preparan cargas **muestreadas** de mineral con **30 gramos** previo roleo y cuarteo.

3.- La **carga fundente** que se aplica es: **80 gramos** de litargirio, **35 gramos** de carbonato de sodio, **15 gramos** de bórax y **4 gramos** de nitrato de potasio.

b) CONCENTRADOS NO SULFUROSOS O DE GANGA

1.- **Tomamos** una muestra representativa (función del peso disponible) para pulverizar en el molino de bolas durante 30 minutos.

2.- Preparamos cargas **muestreadas** de mineral con **30 gramos** previo roleo y cuarteo.

3.- La **carga fundente** que se emplea es: **60 gramos** de **litargirio**, **35 gramos** de carbonato de sodio, **15 gramos** de bórax y **4 gramos** de harina

c) CONCENTRADOS SULFUROSOS Y MIXTOS

1.- Se toma **una** muestra representativa (función del peso disponible) para pulverizar **en** el molino de bolas durante 30 minutos.

2.- **Se** preparan cargas **muestreadas** de mineral con **30 gramos** previo roleo y cuarteo.

3.- La carga fundente para concentrados sulfurosos que se aplica es: **90 gramos** de litargirio, **35 gramos** de carbonato de sodio, **15 gramos** de bórax y **10 gramos** de nitrato de potasio.

4.- Para los **mixtos** la carga fundente es: **80 gramos** de litargirio, **35 gramos** de carbonato de sodio, **15 gramos** de bórax y **7 gramos** de nitrato de potasio.

NOTA: *Todas* las muestras reciben incuartamento con nitrato de plata

Posterior a cada ensayo los botones **de** plomo se **copelan**, el doré obtenido **es aplanado y atacado** con ácido nítrico (**50%**) por **30 minutos** en caliente, luego se lava **con agua** destilada **al** terminar la reacción. Disolvemos el oro con **agua regia** y llevamos a absorción atómica

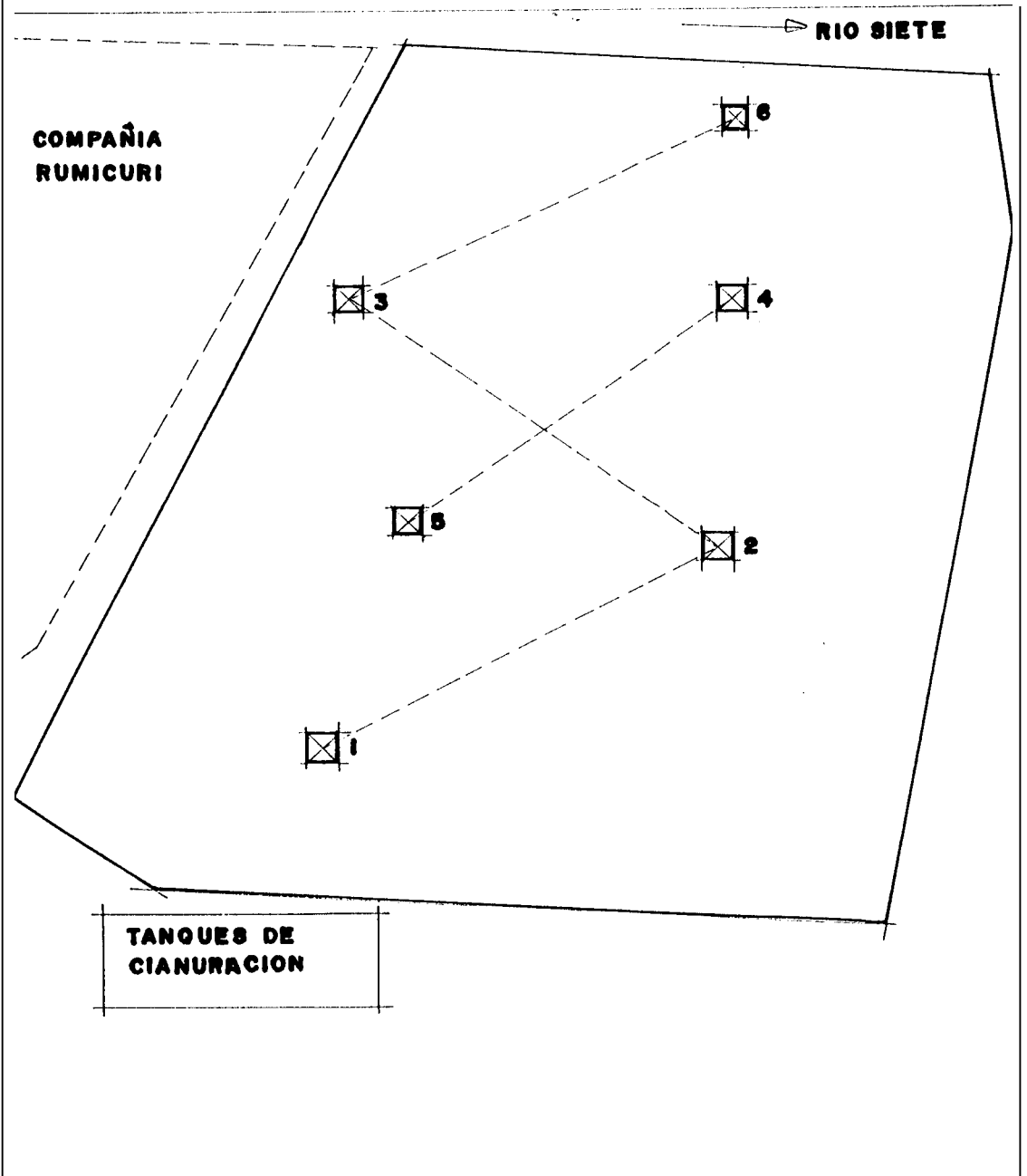
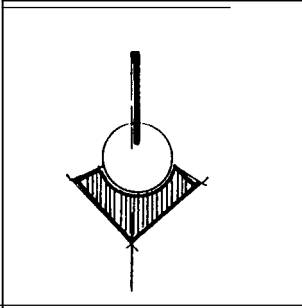


FIG. # 3.— DISTRIBUCION DE LOS POZOS PARA MUESTREO



ORENAS S.A.

UBICACION —
 PROV.: AZUAY — CANTON: PUCARA
 PARROQUIA: PONCE ENRIQUEZ

SIMBOLOGIA —

☒ POZOS DE MUESTREO

ESCALA —

1: — 500

CAPITULO III

CARACTERIZACION DE LAS ARENAS CIANURADAS

3.1 MINERALOGIA

Para realizar el estudio de los minerales, se utilizó una fracción del compuesto de arenas cianuradas, previamente homogenizada, cuarteada (cuarteador Jones) y con su granulometría natural (75% -100 Mesh).

Con esta muestra se efectuó una concentración con batea y después un microbateo de limpieza, con este procedimiento se alcanzó una óptima separación en función del peso específico de los minerales. La fracción pesada de minerales opacos se utilizó para la confección de probetas pulidas y con la fracción liviana de minerales claros se confeccionó las láminas delgadas.

Estas concentraciones determinaron que en promedio, un 30% del peso de la muestra, corresponden a los **sulfuros (fracción pesada)**.

1 LAMINAS DELGADAS Y PULIDAS

El estudio tanto de las láminas delgadas como de las pulidas, se efectuó en un microscopio ZEISS-NIKON MODELO 104.

El porcentaje de minerales presentes, constituye un cálculo relativo, que se realizó mediante identificación y conteo de minerales por barrido de áreas. (Ver foto #3).

LAMINAS DELGADAS.- Los exámenes con luz transmitida, sobre las secciones delgadas, permiten identificar y porcentualizar los siguientes minerales:

CUARZO	50 %
FELDESPATOS	20 %
CARBONATOS	15 %
MINERALES OPACOS	10 %
EPIDOTA	3 %
CLORITA	2 %

LAMINAS PULIDAS.- Los exámenes con luz reflejada, sobre las secciones pulidas, permiten identificar y porcentualizar los siguientes minerales:

PIRITA	32 %
PIRROTINA	24 %
ARSENOPIRITA	21 %
CALCOPIRITA	13 %
ESFALERITA	10 %

3.1.2 ANALISIS CUALITATIVO POR RAYOS X

Los minerales identificados por difracción de rayos X son:

Significado:

<i>Abundante</i>	XXXX
<i>Medio</i>	XXX
<i>Bajo</i>	XX
<i>Escaso</i>	X

Fracción liviana

Albita	X
Cuarzo	XXXX
Calcita	XX
Clorita	X
Epidota	X
Goethita	X
Oxidos de hierro	XX
Ortoclasa	X

Fracción pesada

Arsenopirita	X
calcopirita	X
Esfalerita	X
Ilmenita	X
Magnetita	X
Oxidos de hierro	X
Pirita	XXX
Pirrotina	XXX

313 ASOCIACION MINERAL

Considerando que: las **arenas cianuradas** como consecuencia del proceso lixiviatorio tienen valores de baja ley de oro y plata y éstos, razonablemente, deben encontrarse ocluidos en ciertas matrices de **minerales**; no fue factible la identificación de asociaciones auríferas con **algún mineral** utilizando el microscopio electrónico con espectroscopía de rayos **X** (Laboratorios de Geología de Petroecuador). Únicamente se

corroboró información química y mineralógica de los constituyentes de las arenas. (Ver foto #4).

No obstante, investigaciones realizadas por los laboratorios Robertson en el informe RSL /319 (1988), con arenas del sector minero de Bella Rica (Ponce Enríquez) ofrecen datos útiles para conocer las asociaciones principales de metales preciosos. Guardando la distancia del caso con respecto a nuestro material podemos estudiar los minerales y elementos que acompañan al oro y fijamos en los tamaños mínimos que ciertas fases auríferas presentan.

En resumen la información se presenta en la Tabla #1.

Las principales conclusiones que el laboratorio estableció fueron:

-Que asociaciones telúricas de bismuto, hierro, cobre, plata y/u oro son encontradas en variadas proporciones en todas las muestras. Comúnmente varias fases telúricas ocurren encapsuladas a menudo dispersas e intercrecidas entre sí, dentro de los minerales huéspedes.

-El oro fue detectado en todas las muestras dentro de la matriz de los sulfuros y dentro de plata aurífera (electrum).

-La plata fue detectada en todas las muestras, típicamente asociada con oro o dentro de varios telururos.

12 EST

3.2.1 TEF NACTION ELAS PI E FISICAS

3.2.1.1 DENSIDAD

La densidad de las arenas cianuradas se determinó mediante el siguiente procedimiento:

-**Tomamos** una porción seca del compuesto obtenido de las arenas cianuradas y pesamos **100 grs. (Ws)** .

-Enrasamos un **matraz** de **500 ml.** con agua destilada y pesamos **(W1)**.

-Colocamos el material dentro de un **matraz** vacío de **500 ml.** y aforamos con agua destilada, luego pesamos **(W2)**.

La densidad **será** el resultado del peso del material seco **(Ws)** , dividido para su volumen **(V)** , que equivale al peso de **agua** desplazada por el mineral, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{DENSIDAD (d)} = \frac{W_s}{W_s + W_1 - W_2}$$

Realizamos cinco **ensayos** para calcular la densidad promedio de las arenas. Los resultados se presentan en la tabla #2.

3.21.2

El peso volumétrico es igual al peso de **1 m³** en toneladas, en posición **natural** sin alterar las propiedades del material.

Para ello efectuamos el siguiente procedimiento:

-Se construyó un cuerpo metálico en forma cúbica (con dos caras paralelas descubiertas) de **15 cm** por **lado**, siendo el volumen **(V)** del cuerpo **1125 cm³**.

-Introducimos el cuerpo metálico en un punto de la presa hasta **que** el cuerpo se enrase al nivel de la superficie y recolectamos cuidadosamente el material para pesarlo **(Wh)**, luego secamos y nuevamente pesamos **(Ws)** .

Utilizamos la siguiente fórmula:

$$\text{Peso volumétrico "in situ"} \quad W_v = W_s/V$$

Los resultados se muestran en la tabla #3.

3.21.3 HUMEDAD

La humedad se determinó conjuntamente con el procedimiento empleado en la determinación del peso volumétrico y se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = (W_h - W_s) \cdot 100 / W_h$$

Los resultados se presentan en la tabla #4.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARENAS CIANURADAS

El análisis químico se realizó con la muestra representativa del compuesto de arenas cianuradas previamente homogenizada y cuarteada. Los datos son respaldados por los laboratorios Bondar Clegg y SGS. (Ver tabla #5).

3.23 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LAS ARENAS CIANURADAS

Determinamos la granulometría de las arenas con el fin de **cuantificar** el peso de las partículas de un tamaño dado, los resultados de los ensayos al fuego de las fracciones nos permitió conocer las leyes y porcentajes de oro por fracción granulométrica. El tamizaje se efectúa por vía húmeda y con una serie de tamices Tyler: 65, 100, 150, 200, 230, 325 y 400. (Ver tablas #6, #7 y figura #4).

**Tabla #1 : RESUMEN DEL INFORME MICROSCOPICO
DE LOS LABORATORIOS ROBERTSON**

Ease huésped	Ease Au/Ag	Tamaños Au/Ag
Pirita	Electrum	1-50 um
	Ag(Au,Bi)-Te	1-20 um
	Ag(Au,Fe,Bi)-Te	1-50 um
	Au(Ag,Bi)-Te	5-20 um
	Ag(Bi,Fe)-Te	5-50 um
Pirrotina	Oro nativo	10-50 um
	Electrum	10-50 um
cuarzo	Oro nativo	< 5 um
Feldespato	(Fe,Zn,Cu,Au)-S	10-20 um
Oxidos de Hierro	Oro nativo	10-50 um
	Electrum	1-50 um
	(Cu,Fe,Ag)-Te	< 25 um

Tabla #2 : DENSIDAD

Ensayos #	Densidad (gr/cc)
1	3.34
2	3.18
3	3.33
4	3.17
5	3.13
PROMEDIO	3.23

Tabla #3 : PESO VOLUMETRICO

Ensayos #	Peso Volumétrico (gr/cc)
1	2.33
2	1.64
3	1.58
4	1.50
5	1.95
PROMEDIO	1.80

Tabla #4 : HUMEDAD

Ensayos #	Humedad %
1	19.21
2	17.10
3	22.13
4	19.15
5	18.70
PROMEDIO	19.26

**Tabla #5 :ANALISIS QUIMICO DE LA MUESTRA
DEL COMPOSITO DE ARENAS CIANURADAS**

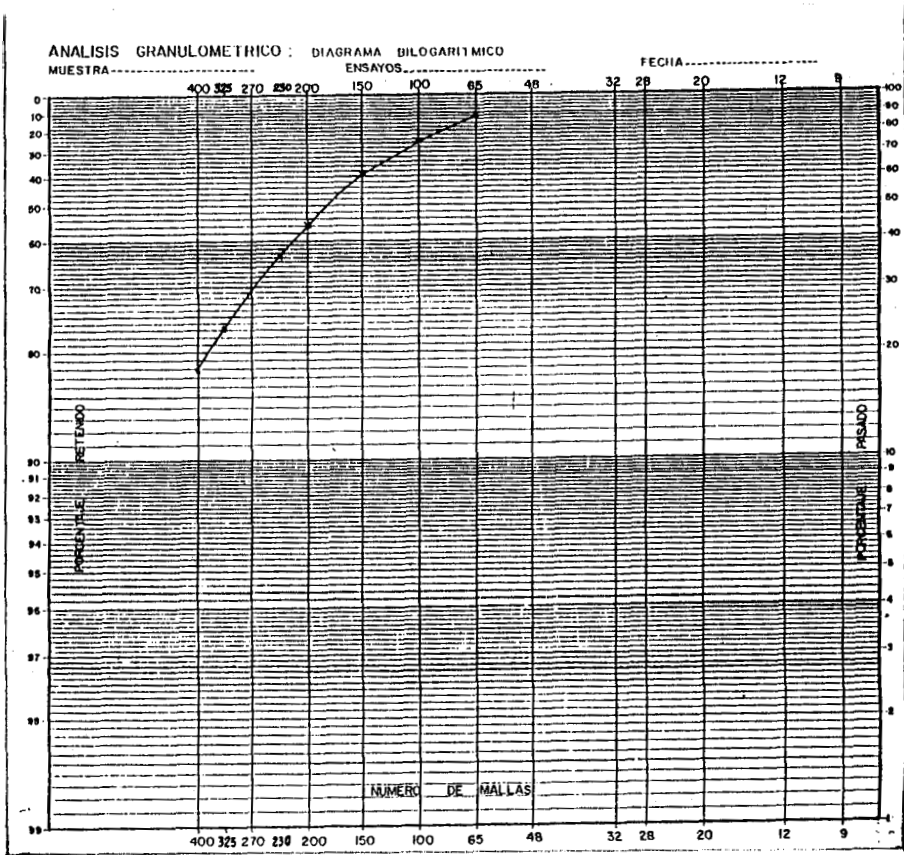
Au	3.93 ppm
Ag	17.0 ppm
Cu	0.58 ‰
Pb	0.02 ‰
Zn	0.04 %
Fe	17.2 %
As	0.88 %
Ti	0.02 %
Al	0.95 ‰
Ca	2.07 %
K	0.05 %
Hg	1.450 ppb
Cd	< 1 ppb
Sb	221 ppm
Co	109 ppm

Tabla #6 : ANALISIS GRANULOMETRICO

MALLA (Tyler)	PESO (grs)	PESO (%)	% PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO PASANTE ACUMULADO
65	539,20	10,78	10,78	89,22
100	727,00	14,54	25,32	74,68
150	672,00	13,44	38,76	61,24
200	874,80	17,50	56,26	43,74
325	593,40	11,87	76,68	23,32
400	283,90	5,68	82,36	17,64
Fondo	882,00	17,64	100,00	—
TOTAL	5000,00	100,00		

**Tabla #7 : DISTRIBUCION DE ORO
POR FRACCIÓN GRANULOMETRICA**

MALLA (Tyler)	PESO	PESO (%)	PESO Acum. (%)	LEY Au (gr/Tm)	Au (mg)	% Au Retenido	% Au ACUM. Retenido	% Au Pasante
65	539,20	10,78	10,78	1,58	851,94	5,23	5,23	94,77
100	727,00	14,54	25,32	1,75	1272,25	7,80	13,03	86,97
150	672,00	13,44	38,76	2,13	1431,36	8,78	21,81	78,19
200	874,80	17,50	56,26	3,10	2711,88	16,63	38,45	61,55
230	427,70	8,55	64,81	3,63	1552,55	9,52	47,97	52,03
325	593,40	11,87	76,68	5,13	3044,14	18,67	66,64	33,36
400	283,90	5,68	82,36	3,88	1101,53	6,75	73,39	26,61
Fondo	882,00	17,64	100,00	4,92	4339,44	26,61	100,00	—
TOTAL,	5000,00	100,00			16305,09			



Figura#4 : Curva granulométrica de las arenas

CAPITULO IV

CUANTIFICACION DE RESERVAS

4.1 CALCULO DE RESERVAS

4.1.1 VOLUMEN Y TONELAJE

El levantamiento topográfico de la presa de arenas fue realizado a finales del mes de Noviembre de **1995**, en aquella fecha, el **volumen** almacenado era de **10500 m³**, basados en el área ocupada por las arenas de **3500 m²** y una profundidad media de 3 mts. (Ver figura #2).

Considerando el peso volumétrico seco del material **1.8 gr/Tm**, tenemos **hasta esa** fecha un subtotal de **18900** toneladas métricas. A este subtotal, se **suman**, las toneladas de arenas **tratadas** desde el inicio del mes de Diciembre de **1995** hasta fines del mes de Octubre **1996** y una presa alterna contigua a la principal que almacena **8000** toneladas métricas.

Los reportes de procesamiento de la planta nos indican que **19800** toneladas han sido tratadas en los últimos **11** meses.

A la fecha **31** de Octubre de **1996**, tenemos la existencia de **46700** toneladas de arenas cianuradas. (Ver tabla #9).

4.12 EYE DE ORO E I MI I

Para las **18** muestras de los pozos y para el compósito formado se obtuvieron valores que se presentan en la tabla #8.

4.13 LEY PONDERADA DE ORO

La ley ponderada de oro, en el total de las reservas, se la establece considerando que los pozos de muestreo forman un enrejado irregular por lo que se toma en cuenta las posiciones relativas de los sondeos para su cálculo. Entonces, el área de la presa se divide en triángulos formando cada pozo su respectivo vértice. El promedio de la ley en los sondeos de los vértices (pozos) es la ley del prisma triangular que afecta exclusivamente al volumen que se circunscribe en el mencionado prisma (Ver figura #5 y tabla #9).

4.1.4 CALCULO DEL CONTENIDO TOTAL DE ORO Y PLATA

El contenido de oro y plata, en el total de las reservas que llega a **46700 Tm**, se basa en que la ley ponderada de oro es de **2.84 gr/Tm** y que la ley de plata en la muestra del compósito es de **17 gr/Tm**, por lo tanto, se establece un total de **133 Kg.** de oro y **794 Kg.** de plata (Ver tabla #10).

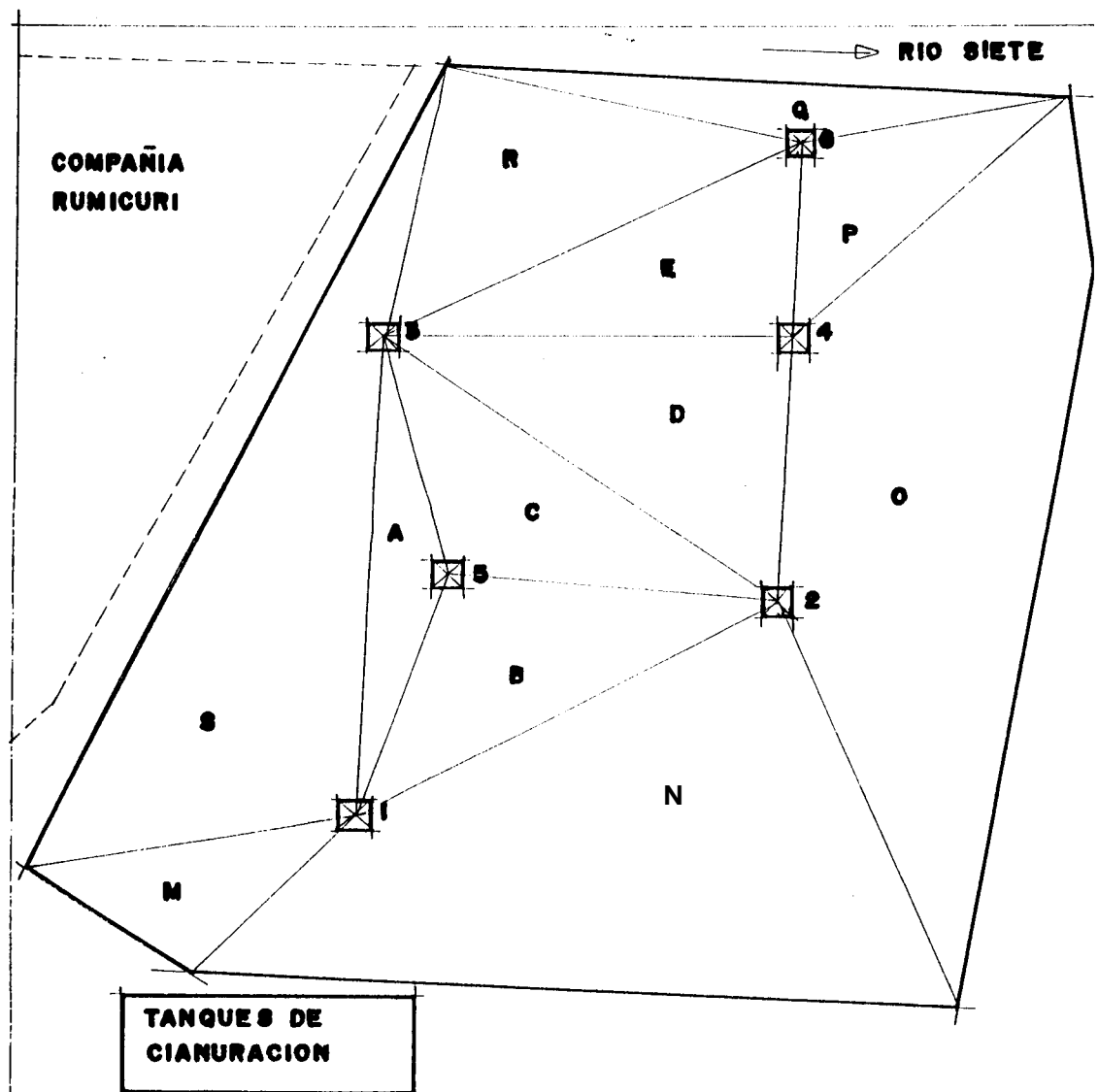
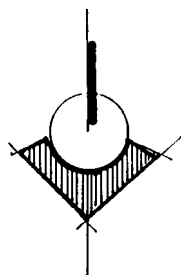


FIG. # 5.— CALCULO DE RESERVAS POR AREAS DE INFLUENCIA



ORENAS S.A.

UBICACION—

PROVINCIA: AZUAY — CANTON: PUCARA
 PARROQUIA: PONCE ENRIQUEZ

SIMBOLOGIA—

☒ POZOS DE MUESTREO

ESCALA—

1: ——— 500

**Tabla # 8 : LEYES DE ORO EN MUESTRAS
OBTENIDAS DE LOS POZOS**

MUESTRA CODIGO	ENSAYO AL FUEGO Au Total (gr/Tm)
51	4,04
52	2,89
53	3,49
Prom. Pozo 5	3,47
61	2,58
62	2,74
63	3,90
Prom. Pozo 6	3,07
Promedio de Pozos	3,47
Compósito	3,93

Tabla #10 : CONTENIDO TOTAL DE ORO Y PLATA

METALES	LEY (gr/Tm)	RESERVAS (Tm)	CONTENIDO TOTAL (Kg)
ORO	2,84	46.700	132,60
PLATA	17.00	46.700	794.00

CAPITULO V

PRUEBAS DE RIED.

5.1 CARACTERISTICAS DE LA REFRACTARIEDAD

Orenas S.A tiene desde 1993, un proceso probado y definido de lixiviación-adsorción de oro para las distintas arenas (colas de canalón o gravimétricas) que provienen del sector minero de Bella Rica (Ver diagrama #1). El promedio histórico de recuperación por cianuración varía del 60% al 80% del oro presente en las colas gravimétricas. Existe conciencia de que las arenas que se tratan son refractarias en base a las siguientes razones particulares:

Oro encapsulado.- Un alto porcentaje de oro (nativo y complejos auro-telúricos) se encuentra finamente disperso en el interior de los sulfuros de hierro (pirita y pirrotina). En menores porcentajes en el cuarzo y óxidos de hierro. (Ver tabla #1).

Complejos auríferos difíciles de disolver.- Las fases **auro-telúricas** tanto de oro nativo como de aleaciones oro-plata, principalmente con la pirita, tienen una velocidad de disolución lenta en medios alcalinos cianúricos, llegando incluso a pasivarse. (Marsden-House, pp.286).

Minerales consumidores de cianuro y oxígeno.- Algunos **sulfuros** metálicos se descomponen fácilmente con una aereación y una solución alcalina de cianuro para formar iones metálicos, óxidos metálicos o complejos de cianuro. Varios de los más importantes minerales de hierro tienen velocidades de descomposición, en soluciones cianuradas en el siguiente orden: pirrotina >>> marcasita > arsenopirita > pirita, lo cual favorece a la captación de iones de cianuro libre para la formación de complejos de hierro y además en su descomposición, estos minerales, utilizan el oxígeno disuelto en la pulpa, lo que afecta en una disminución de la cinética de disolución de oro. (Marsden-House, pp. 282).

En los relaves cianurados (47000 Tm) de Orenas S.A, la condición de refractariedad obviamente es mucho más acentuada (debido a que la **gran** mayoría del oro fino libre ha sido lixiviado). En la tabla #1, los Laboratorios Robertson confirman la existencia, en arenas no cianuradas, de oro nativo, **electrum** y fases **auro-telúricas** con **tamaños** menores a **50 micras** (malla 270 Tyler), principalmente asociadas a los **sulfuros** de hierro. Además a partir de la tabla #7, se deduce que las arenas cianuradas tienen un **62%** de oro que pasa la malla **200 (74 micras)** y un **33%** de oro posee un **tamaño** inferior a **44 micrones** (malla 325 Tyler).

Orenas S.A ha almacenado sus colas cianuradas por dos motivos importantes: el primero de carácter técnico-económico y el segundo de tipo medio-ambiental.

Técnico-económico.- Que a pesar de la baja ley de oro total (promedio ponderado de **2.84 gr. Au/Tm**), los relaves cianurados están sujetos, a corto o mediano plazo, en función de las investigaciones que determinen su rentabilidad, a un **tratamiento** previo de: liberación del oro (comminución), concentración o destrucción de las especies que impiden su lixiviación (biolixiviación, tostación, oxidación química).

Medio-Ambiental.- Que de no acumular los relaves, éstos y los efluentes serían descargados directamente al río Siete, que colinda con la compañía, generándose una contaminación de **altas** magnitudes.

En este capítulo es preciso realizar ensayos de recianuración intensiva (2 gr. CN/Lt y 24 horas de tratamiento) para las 18 muestras de la presa, sin alterar sus propiedades químicas, con la granulometría natural (44% -200 Mesh) y con una granulometría fina (remolienda 90% -200 Mesh). Concluido el set con las 36 pruebas de laboratorio, se podrá establecer, si es aplicable o no, una recianuración y una remolienda, en términos de eficiencia en la recuperación de oro y basándose en que una remolienda de las arenas podría exponer oro (único metal que económicamente interesa a Orenas) a la solución lixiviante de cianuro de sodio.

Los resultados de los ensayos de cianuración a la granulometría natural a partir de las 18 muestras (tomadas a lo largo, ancho y profundidad de la presa) comprobarán la cantidad de oro cianurable que en promedio aún existe, datos que calificarían la eficiencia del método de lixiviación en Orenas.

Además, en el caso particular de este tipo de arenas cianuradas donde están identificados los minerales que portan oro, resultaría de interés concentrar parte del material ya que la disminución del volumen facilita operaciones y reduce costos.

5.2. S. C. DE R

En esta fase se presentan pruebas de cianuración sin moler y moliendo, a todas las arenas del muestreo por pozos.

OBJETIVO

Determinar la influencia de una molienda fina en la recuperación de oro de los relaves de arenas cianuradas sometiéndolas a pruebas de cianuración intensiva

EQUIPOS

- Molino de bolas
- Botellas de cianuración
- Agitador de botellas

CONDICIONES DE OPERACION

Molienda

Utilizamos un molino de laboratorio cuyas características son:

- Diámetro del molino = **32.2 cm**
- Longitud del molino = **28 cm**
- RPM de trabajo = **65**
- Carga de bolas = **10 Kg**

Se realiza una prueba de molienda para determinar el porcentaje pasante de malla **200** en función del tiempo de molienda **Aquí se establece que un tiempo de 30 minutos logra** que el **90%** de la arenas pasen la malla **200 (74 micras)**. (Ver tabla #11 y figura #6).

Clanuración

- Sólido= **1 Kg**
- Líquido= **2 Kg**
- Sólidos por peso= **33 %**
- [CN]= **2 gr/Lt**
- pH= **10.5-11**
- Tiempo= **24 hrs**
- RPM de **agitación** de las botellas= **120**

(Ver foto #5)

PROCEDIMIENTO

El proceso y las condiciones son idénticas **tanto** para las muestras **sin** moler como las molidas.

-Colocamos un kilo de arena y 2 litros de agua en una botella luego, agitamos durante 3 horas añadiendo cal a la pulpa para un pretratamiento oxidativo.

-Al final del pretratamiento, verificamos que el pH de la pulpa sea mayor a 10.5 y agregamos 4 gramos de cianuro de sodio.

-Se toman muestras cada 3 horas y se controla las concentraciones de cianuro y el pH.

-Finalmente, las muestras son analizadas por absorción atómica

5.3 RESULTADOS

En las tablas #12 y #13 se presentan, respectivamente, los resultados de las pruebas de cianuración intensiva y los de cianurar por sectores en la presa).

5. NAI DE RESULTADOS

En promedio, las pruebas de cianuración indican:

-Que sin moler existen 0.43 gr/Tm de oro cianurable, mientras que moliendo 30 minutos se alcanza 0.93 gr/Tm de oro cianurable. Esto nos indica que el incremento logrado al moler las arenas es de sólo 0.5 gr/Tm.

-Los niveles de recuperación sin moler y moliendo con respecto al oro presente en las arenas son de 12.35% y 26.84% respectivamente. El incremento en la recuperación por el efecto de moler es del 14%.

-Valores de recuperación de oro como 0.5 gr/Tm y 14% que se ganan por un proceso costoso como es la molienda ponen en evidencia que esta no es la alternativa adecuada para procesar este tipo de arenas de forma rentable. Es probable que una salida se la encuentre en la concentración de los minerales portadores de oro.

Tabla#11 :TIEMPO DE MOLIENDA vs. % -200 MESH

TIEMPO (min)	% PASANTE MALLA 200
0	40,5
15	67,7
30	90,2
45	96,6
60	98,5

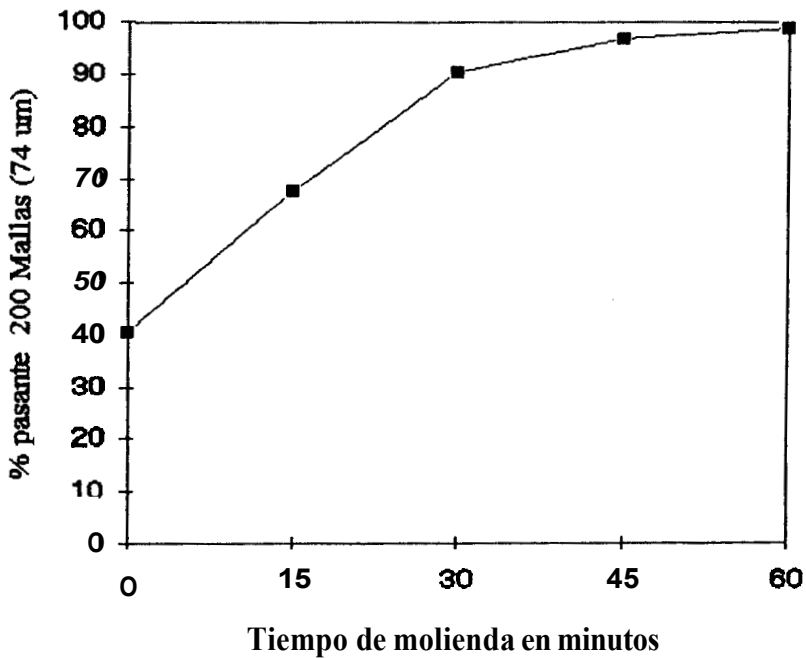
Figura #6 :CURVA DEL TIEMPO DE
MOLIENDA vs -200 MESH

Tabla #12 : CIANURACION INTENSIVA DE LAS ARENAS

MUESTRA CODIGO	E. FUEGO Au Total	CIANURACION CONVENCIONAL			
		Sin Moler		Moiido	
	(gr/Tm)	(gr/Tm)	% Rec.	(gr/Tm)	% Rec.
11	2,85	0,06	2,11	0,86	30,18
12	3,98	0,00	0,00	0,46	11,56
13	3,20	0,46	14,38	0,86	26,88
Prom. Pozo 1	3,34	0,17	5,18	0,73	21,73
21	4,10	0,06	1,46	0,66	16,10
22	3,83	0,06	1,57	0,66	17,23
23	3,39	0,66	19,47	1,06	31,27
Prom. Pozo 2	3,77	0,26	6,89	0,79	21,02
31	2,77	0,06	2,17	0,26	9,39
32	4,66	0,46	9,87	1,06	22,75
33	3,53	1,62	45,89	1,76	49,86
Prom. Pozo3	3,65	0,71	19,53	1,03	28,10
41	2,80	0,06	2,14	0,46	16,43
42	4,98	0,26	5,22	1,26	25,30
43	2,80	1,66	59,29	1,86	66,43
Prom. Pozo4	3,53	0,66	18,71	1,19	33,84
51	4,04	0,00	0,00	1,06	26,24
52	2,89	0,66	22,84	1,26	43,60
53	3,49	0,26	7,45	0,66	18,91
Prom. Pozo5	3,47	0,31	8,83	0,99	28,60
61	2,58	0,26	10,08	0,66	25,58
62	2,74	0,26	9,49	0,86	31,39
63	3,90	0,86	22,05	1,06	27,18
Prom. Pozo 6	3,07	0,46	14,97	0,86	27,98
PROM. POZOS	3,47	0,43	12,35	0,93	26,84
COMPOSITO	3,93	0,46	11,70	0,86	21,88
Prom. Nivel 1	3,19	0,08	2,61	0,66	20,69
Prom. Nivel 2	3,85	0,28	7,37	0,93	24,09
Prom. Nivel 3	3,39	0,92	27,18	1,21	35,75

Tabla #13 : CIANURACION POR SECTORES

SECTOR A= POZOS 1-25

SM : Sin Moler

SECTOR B= POZOS 3-4-6

M : Molido

SECTOR	LEYES PROMEDIO EN (gr/Tm)			% RECUPERACION		
	ENSAYO	LEY CIANURABLE		PROMEDIO		
	AL FUEGO	SM	M	SM	M	M-SM
A	3,53	0,25	0,84	7,08	23,80	16,72
B	3,42	0,61	1,03	17,84	30,12	12,28
B/A	0,97	2,44	1,23	2,52	1,27	

CAPITULO VI

TEBAS DE CENTRA DE

6.1 MESA VIBRATORIA

6.1.1 PRINCIPIOS BASICOS

La concentración gravimétrica es un método de separación física aplicado a especies minerales, que efectúa la separación de partículas por el diferencial en sus gravedades específicas y su movimiento relativo en función a la gravedad y algunas otras fuerzas como la resistencia al flujo viscoso.

Consiste en un plano o tablero, rectangular o romboidal ligeramente inclinado, tiene pendiente ajustable. La superficie o deck esta constituida usualmente de madera revestida con materiales de alto coeficiente de fricción, tales como linóleo, caucho, plástico o fibra de vidrio.

El tablero está provisto de **una** serie de listones, resaltes **o** rifles generalmente paralelos entre **sí**, en dirección **paralela al** movimiento de la mesa **o** formando **un ángulo** con respecto a éste. **Los** rifles **van** disminuyendo de **tamaño** a lo largo del deck **ya** que son **más** altos del lado de la alimentación.

A lo largo del borde **superior** del tablero existe un distribuidor de agua de lavado, con dispositivos que permiten regular el reparto de agua para **graduar** junto con: el caudal de entrada **y** la inclinación; la intensidad de la **corriente transversal** de agua. La descarga de los productos son recogidos en canales paralelos a los bordes de la mesa

Movimiento de partículas

La alimentación de partículas entra a la mesa por la esquina superior en forma de pulpa, sobre la **superficie** del tablero **están expuestas a dos fuerzas**: una debido al flujo de la película de agua **y otra**, perpendicular a la **anterior**, debido a la vibración **longitudinal** del deck. El flujo de la **película de agua** incide en los **granos minerales** que tienden a ser lavados en dirección de la pendiente, pero **se** les impide dicho movimiento por medio de **los d e s** . En **los** espacios inter-rifles, las partículas **se estratifican de tal** modo que las más finas **y** pesadas quedan en el fondo, **mientras** que las **gruesas** y livianas se colocan en la parte superior.

El movimiento vibratorio del deck permite que las partículas **avancen** a lo largo del **eje mayor** de la mesa, **este** movimiento consiste en **un golpe** lento hacia delante **y un** movimiento rápido de retorno, sin embargo las partículas **más** densas continúan **deslizándose y** avanzando **durante** la mayor parte del golpe de retorno debido **al** momento ganado (en función de la masa de la partícula y la velocidad adquirida).

La mesa puede mediante **un** buen funcionamiento ser capaz de procesar **un** amplio **rango** de **tamaños** de partículas con **una** buena **recuperación y** rendimiento. Es ideal para **una** concentración de menas de baja ley **o minerales** de bajo costo.

CRITERIO DE CONCENTRACION

Determina la capacidad que tienen dos minerales de separarse en función de la gravedad y se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Criterio de concentración (C.C)} = \frac{(\rho_1 - \rho)}{(\rho_2 - \rho)}$$

donde: ρ_1 = peso específico del mineral pesado

ρ_2 = peso específico del mineral liviano

ρ = peso específico del fluido, generalmente agua, se asume $\rho = 1$

Cuando C.C es mayor o igual a **2.5**, la separación gravimétrica es realizable para todos los rangos granulométricos superiores a malla **200**.

Si C.C está entre **2.5 y 1.75** la separación es efectiva para granulometrías superiores a malla **100**.

Si C.C está entre **1.75 y 1.5** la separación es posible para granulometrías superiores a malla **10**.

Si C.C está entre **1.5 y 1.25** la separación es posible pero dificultosa, para granulometrías superiores a malla **10**.

Si C.C es menor que **1.25** la separación gravimétrica no es aplicable económicamente, con los aparatos disponibles actualmente.

En nuestro caso, del análisis microscópico del concentrado sulfuroso, los minerales en mayor porcentaje (**76.2%**) son pirita, pirrotina y arsenopirita cuyo promedio de densidades es de **5.23** y del concentrado no sulfuroso (ganga) los minerales en mayor porcentaje (**85%**) son **cuarzo**, feldspatos, calcita cuyo promedio de densidades es de **2.70**. Teóricamente, resulta aplicando el criterio de concentración:

$$C.C = \frac{5.3 - 1}{2.7 - 1} = \frac{4.3}{1.7} = 2.488$$

Este valor de **2.5 aproximado**, nos indica que es posible una separación gravimétrica para las menas cianuradas que poseen un 75% pasante malla 100.

6.1.2 PARAMETROS DE LA MESA

Golpe: Amplitud y Frecuencia

Los golpes largos a velocidades relativamente bajas son mejores para alimentaciones gruesas, mientras que lo contrario se utiliza para alimentación fina

Inclinación: Lateral y Longitudinal

La inclinación lateral es el desnivel que existe entre el extremo de alimentación hasta el extremo de descarga de colas, idealmente debe ajustarse al mínimo posible para tener una buena distribución de las arenas en el deck La inclinación longitudinal es el desnivel existente entre el extremo de alimentación y el extremo de descarga de concentrados, esta inclinación debe ser moderada para que las partículas de mayor densidad (sulfuros) escalen mas rápidamente que las livianas (silicatos), de tal forma que halla una buena separación entre concentrados, mixtos y colas. Pero es indudable que las condiciones óptimas pueden únicamente ser determinadas en la práctica

6.1.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

OBJETIVO

Concentrar los sulfuros de las arenas o colas cianuradas variando la menor cantidad de parámetros tanto de la mesa como del material, en base a la información de experimentos realizados, con el mismo material de Ponce

Enriquez, (con la variante de que las arenas no fueron sometidas a un proceso de cianuración) en diversas instituciones.

EQUIPOS UTILIZADOS

Mesa concentradora

Se **utilizó** una mesa diagonal de laboratorio **DEISTER Nº 15-S** cuya capacidad nominal es de **100 Kg/hr**. Esta mesa incorpora todas las características de la mesa comercial **DEISTER Nº 6** (capacidad nominal de **1-2 Tm/hr**) de manera que, trabajando bajo condiciones de laboratorio, todos los resultados obtenidos con la mesa **Deister 15-S** pueden ser duplicados a los logrados bajo operaciones con equipos de mayor capacidad. Entre las características principales que dispone la mesa **Deister 15-S** están:

- Deck diagonal
- Fácil instalación
- Operación sencilla
- Versatilidad de cubiertas o decks (arenas, limos)
- Ajuste variable de velocidades y elevación
- Estructura de **acero** para soporte del deck
- Facilidad de cambio del deck

Agitador de pulpa

Se empleó un tanque de **20** litros de capacidad provisto de una llave de paso. **Al** tanque se **adapta** un motor con su impeller para que homogenice la **pulpa**.

Reservorio de agua

Utilizamos un tanque de **gran** capacidad que proporciona agua de lavado.



METODOLOGIA

Del compósito de arenas cianuradas se obtuvo mediante cuarteo cuatro muestras de **10 Kg** de peso a la **granulometría natural (75% -100 Mesh)**. Se busca concentrar sulfuros variando **ángulos** de inclinación transversal en las tres primeras pruebas **y finalmente una prueba que se efectúa alimentando una pulpa granulométricamente homogénea** evitando el sobretamaño de **100** mallas. En la práctica, mediante observación se busca un punto de corte óptimo entre los sulfuros **y los silicatos**. (Ver foto #6).

PROCEDIMIENTO

Se realizaron cuatro pruebas **en** el siguiente orden:

1.- Las pruebas **#1, 2, 3** con inclinaciones transversales de **3°, 2° y 1°** respectivamente.

2.- La prueba **#4** se la **hizo** con el mejor **ángulo** de inclinación transversal hallado, de las **tres** pruebas anteriores. El material es clasificado previamente por vía húmeda utilizando un tamiz **#100 Tyler**.

3.- La inclinación longitudinal, amplitud de golpe **y** frecuencia permanecen constantes en valores de **1°, 14 mm y 300 rpm** respectivamente.

En **todos los** ensayos utilizamos un **33%** de sólidos por peso. Con las variantes efectuadas se busca **progresivamente** alcanzar la mayor recuperación de oro.

Al inicio de un **ensayo** se ajusta la inclinación transversal, probamos con un set de arenas cianuradas exclusivo **para** regular **y una vez** alcanzado el punto de corte verificamos las inclinaciones efectuando la corrida final. En cada prueba **se** toma el tiempo **que** necesita el material **para** concentrarse.

De la concentración se obtienen tres productos que llamamos: concentrado, **mixto y** estéril. Se decanta el material, eliminamos el agua, secamos **y** preparamos **muestras** para ensayos al fuego.

Para el cálculo de recuperación **y** razón de concentración será considerado conjuntamente el concentrado **y** el mixto.

6.1.4 RESULTADOS

Los resultados se presentan junto con su balance metalúrgico en las tablas #14 a #19.

6.2 OTROS ENSAYOS

6.21 ESPIRAL

PRINCIPIO BASICO

Una espiral está compuesta de **una** canoa helicoidal que forma el **cuerpo principal**. La pulpa **alimentada** en la parte superior desciende bajo el efecto **combinado** de la fuerza de gravedad **y** **centrífuga**, generada por el desplazamiento circular del fluido.

En estas condiciones, se produce **una** clasificación por tamaño **y** densidad. Las partículas **pequeñas y** densas que sedimentan primero, son arrastradas hacia el centro de la espiral, en **tanto** que **las** partículas **gruesas y livianas** son mantenidas en los bordes, debido a los efectos de la fuerza centrífuga, la cual **es** más **importante** en la parte externa de la espiral.

Tiene un dispositivo llamado partidores **o** **splitters** ajustables **para** controlar **y** recolectar los concentrados, mixtos **y** colas.

Requieren **una** alimentación regular, con **una** baja proporción de **lamas**, en lo posible **se** **prefiere** **eliminarlas** dado que **aumenta** la viscosidad de la pulpa, reduciendo la **separación y** eventualmente impide el adecuado control

visual del proceso de concentración. Normalmente se usan porcentajes de sólidos en la pulpa de 30% a 50%. Los rendimientos se ven fuertemente afectados cuando las pulpas son alimentadas en forma muy diluída.

OBJETIVO

Establecer una comparación del porcentaje de recuperación de oro y BU razón de concentración diente a los resultados de otros ensayos gravimétricos.

EQUIPO UTILIZADO

El ensayo se realiza con los siguientes implementos que ORENAS dispone en planta.

Agitador y dosificador de pulpa

Se cuenta con un tanque agitador cilíndrico de 70 litros de capacidad provisto de un **impeller**. Tiene un fondo cónico que facilita dosificar la pulpa a la parte superior de la espiral mediante una llave de paso.

Espiral

Se usa una espiral vertical de 65 cm. de diámetro exterior cuya altura es de 2.60 mts. y compuesto de 5 espiras.

Reservorio de agua

El suministro es permanente debido a la recepción en tanques de gran capacidad con agua del sector. Se aprovecha tanto para preparar la pulpa como para aportar con agua de lavado.

PROCEDIMIENTO

La prueba se realiza en ORENAS utilizando **100 Kg.** de arenas cianuradas del compósito con su **granulometría natural (75% -100 mallas)**.

1.- Se coloca material y agua hasta obtener **una pulpa** con un **35%** de sólidos por peso **en** el tanque agitador. Encendemos la **máquina**, **agitamos y homogenizamos** la pulpa por **5 minutos**, luego alimentamos la **espiral** abriendo la llave de paso.

2.- Aprovechamos el desnivel existente "in situ" para **transportar** la pulpa desde el agitador a la parte superior del **espiral** con una **manguera de 2 pulgadas**, paralelamente se agrega agua de lavado (**15 Lts/min**).

3.- **Ajustamos** los **partidores o splitters** con una **corrida de prueba y** brindamos unidades de captación para el concentrado, mixto y cola

4- Finalizada la prueba dejamos decantar los materiales, eliminamos el agua, secamos los materiales y se preparan para ensayos al fuego.

6.2.1.1 RESULTADO

El resultado junto con su balance metalúrgico se presenta en la tabla #20.

6.2.2 CONCENTRADOR E RIFUGO KNUDSEN-BOWL

PRINCIPIO BASICO

El Knudsen consiste en un tazón con un revestimiento de caucho que contiene **ranuras** internas en forma de anillos radiales **que actúan como rifles**, la alimentación ingresa al tubo central y **recorre** hasta el fondo de la cubeta, de allí el concentrado se dirige contra la pared, debido a la **fuerza centrífuga** que ejerce el **giro** de la cubeta a 105 rpm, las arenas que ascienden primero son las livianas y luego las pesadas. **Los minerales livianos se lavan en el borde superior del tazón recolectándose el overflow.**

Los minerales pesados se acumulan en las ranuras del caucho. El desalojo del concentrado se realiza por un orificio en el fondo del tazón.

Junto a las ranuras existe **una** aleta raspadora dentro de la **taza** que crea una acción de lavado **y** evita que el material se acumule firmemente **en** ellas, **además** rompe la energía **y** dirección del **agua** para facilitar la sedimentación de pesados por el efecto de turbulencia

Actúa como **una** batea *mecánica*, normalmente se utiliza para recuperar oro de placeres **y** primarios, para la recuperación de los concentrados de **los** jigs, espirales, conos. Es de fácil manejo **y** trabaja en forma discontinua.

OBJETIVO

Comparar los porcentajes de recuperación de oro **y** la razón de concentración frente **a** otros ensayos.

PARAMETROS DEL APARATO

(Datos del fabricante)

Capacidad: **6 m³** de pulpa por hora

Flujo de sólidos: **100-200 Kg/hr.**

Porcentaje de sólidos: **2-5 %**

Tamaño de alimentación: **< 4 mm.**

Revoluciones del tazón: **105 rpm.**

Motor: **0.75 HP.**

Razón de concentración: **8000- 1**

Trabajo: en etapas, proceso discontinuo

PROCEDIMIENTO

El ensayo **se** realizó con **100 Kg.** de material (compósito) con el equipo **similar al** utilizado en la espiral (agitador, reservorio de **agua**) considerando los siguientes detalles:

Se obtienen **dos** concentrados, **uno** primario resultado de una primera pasada cuyas colas son reprocessadas obteniéndose un segundo concentrado con **sus** respectivas colas. Estas tres fracciones se preparan por separado para ensayos y análisis.

1.- En el agitador agregamos las arenas cianuradas **y agua** hasta obtener una pulpa con el **26%** de sólidos. El tiempo de agitación se mantiene en 5 minutos.

2.- Encendemos el concentrador centrífugo **y** lo alimentamos controlando con la llave **de** paso del agitador. Además **se** provee de agua de lavado (10 Lts/min).

3.- Efectuamos una primera pasada de todo el material. **Apagamos** los equipos (agitador, concentrador), recolectamos el concentrado de los rifles del tazón por la parte inferior del mismo **y** lo **separamos**.

4.- Con las colas de la primera pasada efectuamos una segunda concentración.

5.- Finalmente, obtenemos dos concentrados **y** una cola, decantamos los sólidos, eliminamos el **agua**, secamos **y** preparamos para **ensayos** al fuego.

6.2.2.1 RESULTADOS

El resultado **y** su balance metalúrgico se presenta en la tabla # 21.

3 ANALISIS DE

-De la concentración en mesa, las pruebas **#2, 3 y 4** resultan en conjunto las mejores **en** términos de recuperación de oro, razón de concentración **y** ritmo de producción.

-En las pruebas **#2 y 3** se alcanza porcentajes de recuperación de oro de 64.7% **y** de 65.3% respectivamente. La diferencia del **1%** de la recuperación entre estas

pruebas es mínima en contraste con la diferencia de **7 Kg/hr.** que se da en el ritmo de producción.

-La prueba **#3** es la **más** eficiente pues **su** recuperación de oro total alcanza el **65.3%** con una razón de concentración de **3.10 : 1.**

-En términos de productividad, ley de oro **y** razón de concentración es evidente que en la prueba **#4** se obtienen los mejores resultados siendo éstos: **53 Kg/hr, 12.8 gr/Tm y 5.7 : 1** respectivamente.

-Estableciendo una comparación entre las dos pruebas finales debemos mencionar que para la prueba **#4**, el porcentaje de recuperación de oro **y** el porcentaje en peso del concentrado es un **13%** y un **45.3%** respectivamente menor **que** los obtenidos **en** la prueba **#3.** **En** el mismo sentido para la prueba **#4** la ley de oro, el ritmo de producción y la razón de concentración es: **58.9%, 59.1%** y **82.3%** respectivamente mayor que los obtenidos en la prueba **#3.**

- Para el ensayo en la espiral con las condiciones aplicadas se logra concentrar **un 34%** en peso de sulfuros conteniendo el **48.4%** del oro total presente. La razón de concentración es de **2.94 : 1** y el ritmo de producción alcanza **200 Kg/hr.**

- Con el concentrador cenfrffigo alcanzamos una recuperación de oro del **41.81%** con un porcentaje en peso de **sulfuros** del **21%** equivalente a tener una razón de concentración de **4.76 : 1** con un ritmo de producción de **133 Kg/hr.**

(Ver diagrama #2).

**Tabla #14 : PRUEBA #1 DE CONCENTRACION EN MESA
INCLINACION TRANSVERSAL= 3 GRADOS**

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %
Concentrado	1410,40	14,10	13,75	19393,00	51,17
Mixto	1284,60	12,85	2,75	3532,65	9,32
Conc+Mixto	2695,00	26,95	8,51	22925,65	60,49
Cola	7305,00	73,05	2,05	14975,25	39,51
TOTAL	10000,00	100,00		37900,90	100,00
				Balance =	3,79

Recuperación Au = 60,5%

Razón de Concentración = 3,71 : 1

**Tabla #15 : PRUEBA #2 DE CONCENTRACION EN MESA
INCLINACION TRANSVERSAL= 2 GRADOS**

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %
Concentrado	1570,80	15,71	13,17	20687,44	54,02
Mixto	1393,30	13,93	2,94	4096,30	10,70
Conc+Mixto	2964,10	29,64	8,36	24783,74	64,72
Cola	7035,90	70,36	1,92	13508,93	35,28
TOTAL	10000,00	100,00		38292,67	100,00
				Balance =	3,83

Recuperación Au = 64,7%

Razón de Concentración = 3,37 : 1

Tabla #16 : PRUEBA #3 DE CONCENTRACIONEN MESA
INCLINACION TRANSVERSAL= 1 GRADO

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %
Concentrado	1731,20	17,31	12,84	22228,61	55,63
Mixto	1502,80	15,03	2,57	3862,20	9,66
Conc+Mixto	3234,00	3334	8,07	26090,80	65,29
Cola	6766,00	67,66	2,05	13870,30	34,71
TOTAL	10000,00	100,00		39961,10	100,00
			Balance =	4,00	

Recuperación Au = 65,3%

Razón de Concentración = 3,10 : 1

Tabla #17 : PRUEBA #4 DE CONCENTRACIONEN MESA
INCLINACION TRANSVERSAL= 1 GRADO

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %
Concentrado	1125,60	11,26	18,08	20350,85	51,02
Mixto	643,20	6,43	3,61	2321,95	5,82
Conc+Mixto	1768,80	17,69	1382	22672,80	56,84
Cola	5110,40	51,10	2,05	10476,32	26,26
+100 Mesh	3120,80	31,21	2,16	6740,93	16,90
TOTAL	10000,00	100,00		39890,05	100,00
			Balance =	3,99	

Recuperación Au = 56,8%

Razón de Concentración = 5,65 : 1

**Tabla #18 : CONDICIONES DE OPERACION DE LA MESA
PARA CADA PRUEBA**

PRUEBAS	P1	P2	P3	P4
PARAMETROS				
Inclinación transversal (grados)	3	2	1	1
Inclinación longitudinal (grados)	1	1	1	1
Amplitud de golpe (mm)	14	14	14	14
Frecuencia (rpm)	300	300	300	300
Granulometría	Natural	Natural	Natural	-100 Mallas
Peso de la alimentación (Kg)	10	10	10	6,88
% de sólidos por peso	33,3	33,3	33,3	33,3
Caudal de lavado (Lts/min)	15	15	15	15

**Tabla #19 : RESULTADOS METALURGICOS
DE LA CONCENTRACION EN MESA**

PRUEBAS	P1	P2	P3	P4
PARAMETROS				
% en peso de concentrado	26,95	29,64	32,34	17,69
Ley del concentrado (gr/Tm)	8,51	8,36	8,07	12,82
% de Au recuperado	60,49	64,72	65,29	56,84
Razón de concentración	3,71 : 1	3,37 : 1	3,10 : 1	5,65 : 1
Ritmo de procesamiento (Kg/hr)	46,2	40,0	33,0	52,5

Tabla #20 : PRUEBA DE CONCENTRACION EN ESPIRAL

Granulometría: Natural
Alimentación: 100 Kg.
Sólidos por peso: 35%
Tiempo de Agitación: 5 min.
Caudal de lavado: 15 Lts/min

FRACCION	PESO (Kgs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %
Concentrado	11,00	11,00	11,28	124,08	31,66
Mixto	23,00	23,00	2,83	65,09	16,61
Conc+Mixto	34,00	34,00	5,56	189,17	48,27
Cola	66,00	66,00	3,07	202,70	51,73
TOTAL	100,00	100,00		391,87	100,00
			Balance=	3,92	

Recuperación Au = 48,3%

Razón de Concentración = 2,94 : 1

Ritmo de Producción = 200 Kg/hr.

Tabla #21 : PRUEBA DE CONCENTRACION EN KNUDSEN BOWL

Granulometría: Natural Alimentación: 100 Kg. Sólidos por peso: 26% Tiempo de Agitación: 5 min. Caudal de lavado: 10 Lts/min
--

FRACCION	PESO (Kgs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %
Concentrado 1	16,00	16,00	6,75	108,00	30,98
Concentrado 2	5,00	5,00	7,58	37,90	10,87
Concentrados	21,00	21,00	6,95	145,90	41,85
Cola	79,00	79,00	4,58	202,70	58,15
TOTAL	100,00	100,00		348,60	100,00

Recuperación **Au** = 41,8%

Razón de Concentración = 4,76 : 1

Ritmo de Producción = 133 **Kg/hr.**

CAPITULO VII

PRUEBAS DE CONCENTRACION POR FLOTACION

7.1 PARAMETROS DE FLOTACION

La flotación es un proceso físico-químico de concentración mineral. Por la adición de ciertos **reactivos** químicos a la pulpa (depresores, **activadores**, colectores **y espumantes**), **algunos granos** se recubren selectivamente de una película que los hace repelentes **al** agua (hidrofóbicos), **mientras** que **otros** no se recubren (hidrofilicos). **Los** primeros se adhieren a las burbujas de aire con ayuda de los **espumantes y flotan** formando **en** la superficie una espuma estable a partir de la **cual se** recuperan **los** minerales deseados. **Los segundos**, se mantienen hidratados en la fase acuosa (pulpa).

Durante los **25 años** que siguieron a su primera **aplicación** comercial, la **cual tuvo** lugar en **Broken Hill** (Australia), se **logró** un avance **tanto** en los aspectos químicos de la flotación como en el desarrollo de equipos, La flotación es sin duda el método más **usado en** la concentración de **minerales** pues **se** lo emplea

para procesar casi todos los minerales **sulfurosos y se** aplica extensamente para **los** minerales metálicos no sulfurosos, los minerales industriales y carbón mineral.

La flotación conjuga un contacto íntimo entre 3 fases: la líquida (**agua**), la gaseosa (**aire**), éstas dos generalmente invariables y la sólida (minerales) que varía de un caso a **otro**.

La flotación se puede realizar de dos maneras:

-Una flotación colectiva o "Bulk" en la que se produce la separación de varios componentes en dos **grupos** de distinta especie (los deseados y los no deseados) como por ejemplo: los **sulfuros** de **los** no sulfuros.

-Una flotación diferencial o selectiva donde se realiza la **separación entre** minerales de la misma especie **en** productos que contienen **no** más de un mineral, **como** por ejemplo, pirita de sulfuros.

7.1.1 MOLIENDA-GRANULOMETRIA

Todo mineral para ser flotado tiene que ser reducido en **BU tamaño** a tal punto, que cada partícula represente una sola especie mineralógica, a esto se le denomina liberación. El tamaño debe ser apropiado, para que las burbujas de **aire** puedan transportarlos hasta la superficie de la celda de flotación. En este sentido, la flotación de sulfuros es distinta **a** la de no **sulfuros, ya** que, en la flotación de minerales metálicos las partículas son **más** pequeñas que en la de minerales no metálicos.

El **tamaño** máximo apropiado para la flotación se considera **alrededor** de **48 mallas**, es decir, cerca de 0.3 mm. Diámetros mayores de **partículas** ofrecen ciertas dificultades por la liberación misma o por **su** peso.

La liberación de las **partículas** minerales para **su** flotación óptima, crea otro problema serio: la sobremolienda **Las** especies mineralógicas dentro de una **mena** **no** son de la misma dureza. Por ejemplo: los sulfuros (dureza **3.5** a **6.5**) están **acompañados** de cuarzo (dureza **7**), como este último es más duro que aquellos, **las partículas** de cuarzo, después de la molienda serán de

mayor **tamaño** que las partículas de sulfuros. En este caso, el proceso de molienda se puede guiar por la liberación de los sulfuros sin que se presenten problemas serios con la ganga.

Debido a los costos de operación asociados con la molienda, las tendencias **actuales** indican moler tan **grueso como** sea posible sin sacrificar la recuperación.

7.12 DENSIDAD DE PULPA

Una práctica **usual** en pruebas de laboratorio es conducir la flotación primaria "rougher" en pulpas de **25%** a **35%** de sólidos. Densidades más **altas** son aceptables cuando sube la **gravedad** específica de los sólidos del mineral, de lo contrario las desventajas que ofrece una pulpa demasiado **densa 40%** de sólidos o más, son la reducción drástica en la cinética de flotación y la disminución de las recuperaciones.

7.13 pH DE LA PULPA

Es común flotar a un pH **natural** o alcalino. La alcalinidad **se ajusta** con cal, carbonato de sodio, hidróxido de sodio dependiendo de las aplicaciones particulares. **Los** circuitos ácidos se utilizan si las **ventajas** metalúrgicas sobrepasan los mayores costos de operación y de equipos.

7.14 CALIDAD DEL AGUA

La **aplicación** del **agua** es un factor de primordial importancia y magnitud, porque no sólo es el medio en que se desarrolla el proceso, sino también la **causa** de muchos problemas metalúrgicos.

Las sales solubles pueden causar una activación indeseable o depresión de **varios** minerales, que afectan significativamente la **estructura** de la espuma el consumo de los **espumantes** y **otros** reactivos.

Principalmente **son** problemáticas las **sales de:** magnesio, hierro y cobre; el problema de los iones metálicos se soluciona **en** forma satisfactoria al

adoptar un circuito alcalino de flotación. La mayoría de los metales en estos circuitos **forman** hidróxidos insolubles. Es preferible conducir los estudios de flotación **usando** agua de la fuente local para simular el **comportamiento** en una futura planta.

7.1.5 TEMPERATURA

Tiene un efecto significativo sobre la calidad de la flotación para ciertos **minerales**. Se ha demostrado **su** importancia sólo en **algunas** operaciones como por ejemplo en la flotación de minerales de zinc. Es evidente que tiene relación con la cinética de adsorción de los reactivos **y** la dinámica de la flotación.

7.1.6 TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO Y FLOTACION

La flotación consta esencialmente de las siguientes etapas:

- 1.- Adsorción de los reactivos sobre las **superficies** minerales.
- 2.- Encuentro de las partículas preparadas con las burbujas de aire.
- 3.- Transporte de las partículas hasta la superficie de la celda de flotación.

Cada etapa se **realiza en** un tiempo determinado, distinto para cada una de ellas. En condiciones **industriales** el tiempo necesario para acondicionar los reactivos **normalmente varía** entre **unos minutos y** media hora

Una pulpa bien agitada **y** adecuadamente acondicionada no tendrá problema para que las partículas **recubiertas** con un colector apropiado se adhieran a las burbujas en forma instantánea, **siempre** que estén liberadas **y** posean un **tamaño granulométrico** adecuado.

El tiempo necesario para desarrollar la flotación **varía normalmente** entre **5 y 30 minutos**, siendo de **8 a 10 minutos** el tiempo promedio. **Para** propósitos de operación en planta piloto es **usual** considerar por lo menos el doble del tiempo de flotación obtenido en el laboratorio.

7.2 REACTIVOS UTILIZADOS

7.2.1 MODIFICADORES DE pH

Cuatro reactivos son **usados** más frecuentemente con este propósito en la industria de la flotación, la elección sobre cual escoger deberá basarse en su eficiencia como alcalinizante, en los beneficios suplementarios brindados y en los costos. (Ver tabla #22).

Ya que el carbonato de sodio además de las características arriba anotadas proporciona un pH alcalino, ablanda el **agua** (eliminando las sales de calcio), dispersa lamas y su costo es relativamente bajo, se optó por utilizarlo como modificador de pH.

1 TADCS Y DEPRESORES

Depresores

Son reactivos que impiden la flotabilidad de un mineral, esto se logra: previniendo la adsorción del colector sobre la superficie del mineral.

La información mineralógica que se dispone nos dice que alrededor del **70%** de los minerales en las colas o arenas cianuradas constituyen la fracción liviana o **ganga**, esta fracción está compuesta principalmente de:

- a) Cuarzo (**50%**).
- b) Silico-aluminatos alcalinos y de hierro (**25 %**).

Por lo tanto, se **utilizó** un depresor como el silicato de sodio cuya acción característica según Cyanamid es: deprimir cuarzo, los silicatos y dispersar lamas de la ganga.

Tabla #22 : MODIFICADORES DE pH

MODIFICADOR	FORMA DE ADICIÓN	ACCIÓN CARACTERÍSTICA SOBRE VARIOS MINERALES (CYANAMID)
Cal	Polvo	Deprime sulfuros de hierro, plomo, zinc y ciertos minerales de cobre si se usa en exceso. Deprime oro.
Carbonato de sodio	Polvo	Ayuda a la separación entre sulfuros. Dispersa lamas de la ganga. Con sulfato de Cu ayuda a recuperar arsenopirita
Hidróxido de sodio	Solución 5%-10%	Regulador de lamas de la ganga. Con sulfato de Cu activa la arsenopirita.
Acido sulfúrico	Solución 10%	Ayuda a recuperar sulfuros de hierro, especialmente después de la depresión con cal o cianuro.

Activadores

La función activante es contraria a la acción depresora, los reactivos de este tipo son **inorgánicos y** sirven para aumentar la **adsorción** de los colectores sobre la superficie de los minerales o para fortalecer el enlace **entre** la superficie **y** el colector. **Los** principales activadores son: el **sulfato** de cobre, nitrato de plomo **y** **sulfito** de sodio.

El **sulfato** de cobre es el activante **más** usado en el caso de la flotación de oro o de los minerales portadores de oro tales como: piritita, pirrotina, **arsenopiritita**, estibina De acuerdo a las propiedades señaladas, lo utilizamos en nuestras pruebas.

7.23 COLECTORES

Proporciona propiedades hidrofóbicas a las superficies minerales. Son compuestos heteropolares ya que contienen un **grupo** polar (cargado) y un **grupo** no polar (descargado) de manera que, cuando se adhiera **a** la **partícula mineral**, las moléculas del colector se orienten de **tal** forma que el grupo no polar o cadena de hidrocarburos, se extienda hacia **afuera**, formando una película **hidrofóbica** de hidrocarburos en la superficie.

Un colector **ideal** debe cumplir con los siguientes aspectos:

- Efecto colector fuerte
- Selectividad mineral alta
- Estabilidad (rango de pH alto, almacenamiento)
- Facilidad de solubilidad **en agua**
- Carencia de efecto espumante
- Bajo costo**
- Disponibilidad en el mercado

Tendencias actuales en flotación de minerales establecen, que generalmente de dos o **más** colectores distintos proporcionan mejores resultados que el dado por el **uso** de **un sólo** tipo de colector. Particularmente la combinación de xantatos con ditiofosfatos, ha mostrado mejores recuperaciones, leyes de los concentrados y cinética de flotación.

XANTATOS

Los xantatos o tiocarbonatos son sales del ácido xántico, que se producen al reaccionar un alcohol con disulfuro de carbono.

Como resultado de estas reacciones se producen sales amarillentas, solubles en agua y de gran estabilidad en ella. Para flotación es necesario usar xantatos y no ácidos xánticos porque los últimos son inestables en agua y se hidrolizan con desprendimiento de carbono sulfurado. Por la misma razón, con xantatos es necesario hacer flotaciones en circuito alcalino o por lo menos neutro. (Sutulov).

Debido a su bajo costo y sus fuertes propiedades colectoras este grupo de colectores tienen una gran difusión, considerándolos fundamentales para la flotación de sulfuros de metales base y metales nativos (Au, Ag, Cu) y para ciertos minerales oxidados previamente sulfidizados.

De los cinco xantatos que comercializa Cyanamid, se establece que:

-Todos son ampliamente usados para minerales sulfurados, y tienen una tendencia fuerte a flotar sulfuros de hierro, salvo que se usen depresores.

-Todos son polvos solubles en agua y no se usan a pH ácidos.

Particularmente, el Xantato AERO 350 (Amílico de potasio o KAX), es el más poderoso, el menos selectivo, de fácil disponibilidad y su costo es relativamente bajo. Por lo tanto, fué probado en las pruebas de concentración.

DITIOFOSFATOS Y MERCATOBENTIAZOLES

DITIOFOSFATOS

Son ésteres secundarios del ácido ditiofosfórico que se preparan haciendo reaccionar pentasulfuro de fósforo y alcoholes. Como el ácido ditiofosfórico se hidroliza fácilmente, igual que en el caso de los xantatos, es necesario usar alcoholatos para obtener las sales en vez de sus correspondientes ácidos.

Los ditiofosfatos son colectores de menor potencia y más solubles que los xantatos. Tienen un considerable uso en la flotación primaria y contribuye al hecho que son menos vulnerables a la hidrólisis que los xantatos, lo que permite usarlos hasta en circuitos ácidos.

Para obtener buenas recuperaciones en circuitos primarios, a veces la acción colectora de los aerofloats se fortalece con la acción de otros colectores tales como los xantatos. (Šutulov).

MERCATOBENTIAZOLES

Dentro del conjunto de colectores sulfídricos existe un grupo compuesto por los: tiocarbamatos, tioureas, tioles y sus derivados. Este grupo aunque numeroso no tiene aplicaciones de gran volumen como los xantatos y los aerofloats. Sólo algunos tienen importancia práctica como los tioles.

Los mercaptanos (comercialmente mercatobentiazoles) sirven para flotar sulfuros de metales base, así como metales nativos.

Finalmente, con el objetivo de probar distintos tipos de colectores en busca de una mayor recuperación del oro asociado a los sulfuros en las arenas cianuradas utilizamos los siguientes colectores:

Nombre comercial	Familia química	Ingredientes Adicionales
AEROFLOAT 31	Acido aryl ditiofosfórico	ácido cresílico
AEROFLOAT 208	Sal dibutil-dietil-fosfática	NaOH
AEROFLOAT 3477	Sal dibutil-fosfática	desconocido
PROMOTOR AERO 400	Mercatobentiazol sódico	desconocido
PROMOTOR AERO 407	Sal ditiofosfática	NaOH

7.2.4 ESPUMANTE

Se consideran ideales, los espumantes que tienen sólo un grupo polar que no tenga afinidad por la superficie de los minerales es decir sin propiedades colectoras. Igualmente no se puede trabajar de forma conveniente con un espumante que cambia sus propiedades con las condiciones del medio. En resumen, un buen espumante no debe tener más que la función de espumación y debe realizarla con la misma eficiencia en las distintas condiciones que pueden existir en un circuito de flotación.

Estos requisitos precisamente los cumplen la mayoría de alcoholes tanto los aromáticos: aceite de pino y el ácido cresílico, como los alifáticos comercialmente llamados Aerofroth 70, 73 y 77, en todos estos casos los reactivos tienen componentes que limitan su solubilidad en agua, factor que la bibliografía (King) indica incrementar tanto la selectividad como la calidad del espumante.

Debido a que el Aerofroth 65 (que no es un alcohol sino un producto sintético: polipropilenglicol), es un espumante totalmente soluble en agua, con espumación fuerte, ampliamente usado para sulfuros de metales base, minerales de oro y plata, que además cumple con propiedades exclusivamente espumantes, por ello consideramos que es el espumante idóneo para las pruebas de flotación de sulfuros de las arenas cianuradas.

73 FLOTACION DIRECTA "BULK" DEL MINERAL

73.1 PRUEBAS DE LABORATORIO

OBJETIVO

-Determinar en forma progresiva las mejores condiciones de flotación para lograr la máxima recuperación posible de oro **en** concentrados sulfurados.

EQUIPOS

-Máquina de flotación de laboratorio Denver modelo **D-12**.

Opera con los mismos principios básicos que las máquinas de flotación tipo **Sub-A** comerciales. Se **usa** para realizar ensayos de **250 hasta 2000 gramos** de material. Tiene un regulador ajustable de velocidad con su respectivo tacómetro y produce **su** propio aire.

-Medidor electrónico de pH y sus respectivos buffers de calibración: **4, 7, 10**.

-Termómetro manual.

METODOLOGIA

Para llevar a cabo la concentración de las arenas cianuradas se busca un procedimiento para analizar las principales variables, **en** términos estrictamente prácticos, sin necesidad de profundizar **en** detalles, basándonos en textos, artículos y estudios aplicados **en** este campo, con el mismo material de Ponce Enríquez salvo, **que** no eran arenas cianuradas.

Las variables involucradas **en** el proceso son examinadas de la siguiente manera

FACTOR MINERAL

Las arenas o colas cianuradas tienen un 30% de sulfuros, en **gran** parte de hierro, arsénico **y en** menores cantidades de zinc **y** cobre. Se conoce que la mayor parte del oro está asociado con pirita **y** pirrotina

De otro lado, el 70% restante **se** compone en **gran** parte de cuarzo **y** compuestos silíceos (feldespatos, epidota, clorita). Sabemos que pequeñas **cantidades** de oro están **asociadas al** cuarzo.

Por lo tanto, **se** realizan flotaciones colectivas **de** sulfuros **y se** toman medidas depresoras para los silicatos.

MOLIENDA-GRANULOMETRIA

Según las identificaciones en el microscopio estereoscópico, existe **una** excelente liberación de los sulfuros por lo que las asociaciones sulfuros con ganga o viceversa **son** escasas.

Esta principal característica de liberación nos **conduce** a descartar la opción de **realizar** pruebas con material molido. **Paralelamente, se** debe tener presente los costos de operación asociados con la molienda de un **material** marginal **y** los problemas que generarían productos moderadamente **lamosos**.

Para las pruebas de flotación **se** utiliza arenas del **compósito** con su **granulometría natural** (75% -100 Mesh).

CALIDAD DE AGUA

Todas las pruebas de flotación se conducen con **agua** local.

INFLUENCIA DE LAMAS

Los ensayos de flotación se realizan sin evitar la presencia de lamas (17.4%) pero se toman medidas para dispersarlas en la pulpa con silicato de sodio y carbonato de sodio.

DENSIDAD DE PULPA

Se trabaja con un **26%** de sólidos en pulpa, en las primeras pruebas donde se investiga el pH adecuado y la mejor combinación de colectores.

Una vez que se identifica el pH y la combinación de colectores óptima se efectúan dos pruebas finales con un **33%** de sólidos.

TEMPERATURA

Se controla la temperatura en todas las pruebas y en sus distintas fases.

CANTIDAD DE DEPRESOR Y ACTIVADOR

Como depresor se utiliza silicato de sodio (grado industrial) y como activador se usa sulfato cúprico (grado técnico) en dosis de **1000 gr/Tm y 500 gr/Tm**.

COMBINACION DE COLECTORES Y DOSIS DE COLECTORES

La dosis de xantato y de los Aerofloats es **75 gr/Tm y 50 gr/Tm** respectivamente. Las combinaciones se realizan **entre** estos reactivos.

TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO Y FLOTACION

La fase de acondicionamiento es de **8** minutos. El tiempo de flotación en todas las pruebas es de **5 minutos**, excepto en **las** dos finales que es de **6** minutos.

PROCEDIMIENTO

Inicialmente las pruebas "bulk" están dirigidas, con un **26%** de sólidos por peso, a encontrar el mejor pH de flotación con el **uso** de un colector (KAX), luego con el mejor pH buscamos la combinación de colectores óptima. Finalmente con los resultados obtenidos de las pruebas anteriores se efectúan dos pruebas finales con un **33%** de sólidos. En los ensayos finales determinamos **la** producción de concentrados en etapas **y** la recuperación **acumulada** en función del tiempo de flotación, los concentrados fueron removidos en *forma* parcial de **2,4 y 6** minutos.

El procedimiento empleado será el siguiente:

1.- Utilizamos **700** gramos de arenas del compuesto **y 2** litros de agua local para formar una pulpa con un **26%** de sólidos en la celda de flotación **cuya** velocidad del impeler para acondicionamiento será de **1400 rpm**. **Agitamos y** homogenizamos la pulpa durante **2** minutos **y** luego medimos el pH **y su** temperatura

2.- Posteriormente acondicionamos la pulpa durante **8** minutos, lapso en el que se agregan: primero el depresor de ganga, luego en el siguiente orden el activador, colectores **y** el modificador de pH. **A** los **6** minutos, sin interrumpir el proceso, añadimos el espumante **y** verificamos tanto el pH (se **ajusta** de ser necesario) como la temperatura

3.- Disminuimos la velocidad del impeler a **1200 rpm**, medimos el pH **y** la temperatura de flotación, abrimos **la** válvula de aire **y** empieza **la** flotación de sulfuros.

4.- Cinco minutos después, termina la flotación **y** dejamos decantar los productos, secamos **y** los preparamos para los análisis correspondientes.

5.- Para las pruebas finales **al 33%** ,el procedimiento es el mismo **y sólo** se varía la cantidad del **sólido a 1 Kg** de material. Las **fracciones** flotadas en **función** del tiempo son tratadas por separado. (Ver fotos #7 **y** #8).

7.3.2 RESULTADOS

En las tablas #23 a #35 se exponen los resultados de las pruebas donde: se varía el pH de flotación, se realiza **una** combinación de colectores **y** se efectúa flotaciones por tiempos.

7.4 ANALISIS DE RESULTADOS

-Las primeras pruebas de flotación donde se varía el pH desde **6 a 11** con el uso de **KAX** como único colector de sulfuros, en dosis de **75 gr/Tm** indican que a medida que se incrementa el nivel de alcalinidad se obtienen mejores resultados, tanto en el peso flotado **sulfuroso** como en el nivel de recuperación de oro. Se debe aclarar que **fas** pruebas se realizan con un **26%** de sólidos en la pulpa.

-**A pH 6 sólo** un 6.1% de **sulfuros** flotan, con **una** recuperación del **23.1%** del oro total. Esto demuestra la baja efectividad de los **xantatos** a pH bajos.

-Con pH de **7 y 8** la recuperación aumenta pero a valores por debajo del **50%** del oro presente.

-Sin embargo, desde pH **9** hasta **11**, los niveles de recuperación de oro se toman ligeramente **asintóticos y varían** entre el **55.1%** hasta el **55.7%**. Los porcentajes de pesos flotados varían entre el **22%** **y** el **23%** respectivamente.

-En base a la ausencia de incrementos notables de los porcentajes de recuperación **y** los sulfuros flotados entre pH **9 y 11**, se decide **utilizar** un pH de **9.5** para los siguientes ensayos en que se elegirá el ditiofosfato que combinado **al KAX** superen los parámetros hasta **aquí** alcanzados.

-Manteniendo la dosis del colector principal (**KAX =75 gr/Tm**) y con una dosis invariable de **50 gr/Tm** para los colectores secundarios, las pruebas al **26%** de sólidos por peso revelan que los mejores colectores secundarios son el **AERO-31** y el **AERO-407**, cuyas recuperaciones de oro son **75.1%** y **77.4%** respectivamente. Y las razones de concentración son de **3.61** a 1 para el **AERO-31** y se **3.67** a 1 para el **AERO-407**.

-**En** la prueba final con un **33 %** de sólidos y flotaciones parciales se determina que el rendimiento de **KAX** y **AERO-407** al final de 6 minutos alcanza en promedio el **73%** de recuperación de oro, mientras que el peso flotado se conserva en un nivel promedio de **26.4%**. de sulfuros lo que representa una razón de concentración de **3.79** a 1.

-En promedio, con los dos primeros minutos de flotación se alcanza un **18.7%** en peso flotado y **63.1%** de recuperación de oro. En los **dos** minutos posteriores el incremento parcial es de **5.2%** en peso y un **7.4%** de recuperación. Finalmente, desde los **4 a los 6** minutos de flotación la cinética del proceso llega a su asíntota con leves incrementos como demuestra el **2.6%** en peso y el **2.34%** de recuperación.

-La temperatura promedio de flotación en las pruebas es de **40°C**. Los consumos de carbonato de sodio para la mayoría de las pruebas a pH de **9.5** varían entre **16 Kg/Tm** y **17 Kg/Tm**.

(Ver diagrama #2).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1. Las arenas tienen una densidad de 3.23 gr/cc y un peso volumétrico seco "in situ" de 1.8 gr/cc.**
- 2. Los resultados obtenidos del cálculo de reservas, así como de los análisis físicos y químicos de las muestras nos indican que la compañía Orenas S.A. dispone de 47.000 Tm. de menas cianuradas, con una ley promedio de oro de 2,84 gr/Tm. Aproximadamente existen 133Kg. de oro total por un valor cercano a 1.6 millones de dólares.**
- 3. Se identifica que el 70% del peso de las arenas está conformado por minerales de ganga principalmente: cuarzo, feldespatos y carbonatos. El 30% restante son sulfuros mayoritariamente de hierro: pirritas, pirrotinas y arsenopirritas. El estudio microscópico revela una descomposición de minerales opacos (sulfuros de hierro) en óxidos de hierro casado por las condiciones oxidantes y lixiviantes en la presa de almacenamiento. El oro se encuentra ocluído en matrices de minerales como pirrita, pirrotina y en menor cantidad en el cuarzo.**

4. El porcentaje en peso de las arenas que pasan la malla **100 y 200** (Tyler) son: **75%** y **44%** respectivamente. **En** los análisis de oro por taniices se tiene que el **87%** del oro pasa la malla **100 (150um)** y el **62%** pasa la malla **200 (74 um)**.
5. Se verifica que unaremolienda (**30 min, 90% -200 Mesh**) no es la alternativa para recuperar el oro existente, ya que **cianurando** sin moler (**44% -200 Mesh**) se tiene en promedio unarecuperación de **12.35%** mientras que moliendo un **26.84%**.
6. La mejor recuperación de oro (**65%**) por concentración en mesa (Deister No . **15-S**) se la tiene **en la** prueba #3 donde **se** trabaja con la **granulometría** natural del material. El porcentaje en peso del concentrado es del **32%** con una ley de oro de **8.1 gr/Tm**, una razón de concentración de **3.10 : 1** y una producción de **33 kg/hr**.
7. Los mejores valores de ley de oro, razón de concentración y productividad se presentan en la prueba #4 donde sólo se alimenta el pasante de la malla **100**. Alcanzándose una ley de oro de **12.8 gr/Tm**, una razón de concentración de **5.7 : 1** y una productividad de **53 Kg/hr**. El porcentaje de oro en el concentrado es del **57%**, en las colas del **26%** y en la fracción **+100 Mesh** de **17%**.
8. En los ensayos con la espiral y el concentrador centrífugo se consigue recuperaciones de oro, leyes de concentrados y razones de concentración de: **48%, 42%; 5.6 gr/Tm, 7.0gr/Tm; 2.94 : 1, 4.76 : 1**; respectivamente.
9. Las pruebas de concentración por flotación de sulfuros permite recuperaciones de oro que oscilan entre el **70%** y el **77%**. Las razones de concentración **varian** de **4.31 : 1 a 3.61 : 1**.
10. La mejor recuperación de oro se logra empleando **KAX (75 gr/Tm) y AERO-407 (50 gr/Tm)** como colectores en una pulpa al **26%** de sólidos por peso y un pH de **9.5**. La dosis de silicato de sodio, sulfato cúprico y el espumante **AEROFROTH-65** son respectivamente de: **1000 gr/Tm, 500 gr/Tm y 30 gr/Tm**.
11. Considerando que los resultados obtenidos de las pruebas a nivel de laboratorio son alentadores, se recomienda: efectuar con las arenas cianuradas pruebas a nivel piloto de concentración en mesa y por flotación, tomando como **guía los diagramas #3 a #5**. Además, investigar las posibilidades de venta de los concentrados y la

incidencia de los elementos nocivos (castigos) en el valor total de los mismos. (Ver tabla #36).

12. Se sugiere efectuar ensayos de cianuración de los concentrados producto de las pruebas a nivel piloto, probando las ventajas de un pretratamiento por tostación, lixiviación ácida y por biolixiviación.

ANEXOS

Tabla #23 : PRUEBA DE FLOTACION #1

Variando el pH de flotación: pH = 6

Ensayo No. 1	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : pH adecuado	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS				
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Cu (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	SO4H2 (cc)
Agitación	02	6.55	29					
Acondicionamiento	00	8.90	31	1000				
	02	7.62	33		500			
	04	7.67	36			75		
	06	7.60	38				30	
	08	6.02	40					0.5
Flotación	00	6.02	40					
	05	6.00	42					

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au
concentrado	43,00	6,14	13,83	594,69	23,18
cola	657,00	93,86	3,00	1971,00	76,82
TOTAL	700,00	100,00		2565,69	100,00

Tabla #25 : PRUEBA DE FLOTACION #3

Variando el pH de flotación: pH = 8

Ensayo No.3	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : pH adecuado	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS				
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Ca (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	02	6.10	29					
Acondicionamiento	00	8.50	30	1000				
	02	7.50	32		500			
	04	7.58	34			75		
	06	7.55	36				30	
	08	8.02	39					1.03
Flotación	00	8.00	39					
	05	8.00	41					

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au
Concentrado	108,60	15,51	9,85	1069,71	41,69
cola	591,40	84,49	2,53	1496,24	58,31
TOTAL	700,00	100,00		2565,95	100,00

Tabla #26 : PRUEBA DE FLOTACION #4

Variando el pH de flotación: pH = 9

Ensayo No.4	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : pH adecuado	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS				
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Ca (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	02	6.30	29					
Acondicionamiento	00	8.70	30	1000				
	02	7.33	32		500			
	04	7.46	34			75		
	06	7.40	36				30	
	08	9.10	39					14.37
Flotación	00	9.00	39					
	05	9.00	41					

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	An (mg)	RECUPERACION % An
Concentrado	156,19	22,31	9,44	1474,43	55,09
Cola	543,81	77,69	521	1201,82	44,91
TOTAL	700,00	100,00		2676,25	100,00

Balance = 3,82

Tabla #27 : PRUEBA DE FLOTACION #5

Variando el pH de flotación: pH = 10

Ensayo No.5	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : pH adecuado	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS				
				SiO ₃ Na ₂ (gr/Tm)	SO ₄ Cu (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO ₃ Na ₂ (gr/Tm)
Agitación	02	6.22	30					
Acondicionamiento	00	8.72	31	1000				
	02	7.60	33		500			
	04	7.62	34			75		
	06	7.52	36				30	
	08	10.00	39					19.54
Flotación	00	10.00	39					
	05	10.00	40					

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au
Concentrado	154,25	22,04	10,08	1554,84	55,01
Cola	545,75	77,96	2,33	1271,60	44,99
TOTAL	700,00	100,00		2826,44	100,00
				Balance = 4,04	

Tabla #28 : PRUEBA DE FLOTACION #6

Variando el pH de flotación: pH = 11

Ensayo No.6	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : pH adecuado	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Cu (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	02	6.25	30					
Acondicionamiento	00	8.67	31	1000				
	02	7.95	33		500			
	04	7.98	34			75		
	06	7.92	36				30	
	08	11.08	39					38.27
Flotación	00	11.00	39					
	05	11.00	40					

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	An (mg)	RECUPERACION % An
Concentrado	160,33	22,90	8,90	1426,94	55,73
cola	539,67	77,10	2,10	1133,31	44,27
TOTAL	700,00	100,00		2560,25	100,00

Tabla #30 : PRUEBA DE FLOTACION #8
Combinando mcolector secundario con KAX

Ensayo No.8	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del liquido : 2 Kgs.
Objetivo : Colectores adecuados	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS					
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Ca (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	AERO-208 (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación									
Acondicionamiento	00	8.70	30	1000					
	02	7.68	32		500				
	04	7.72	34			75			
	05	7.68	35				50		
	06	7.62	36					30	
	08	9.50	39						16.40
Flotación	00	9.50	39						
	05	9.50	41						

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au
Concentrado	162,48	23,21	9,65	1567,93	71,37
Cola	537,52	76,79	1,17	628,90	28,63
TOTAL	700,00	100,00		2196,83	100,00
				Balance = 3,14	

Tabla #31 : PRUEBAS DE FLOTACION #9
Combinando un colector secundario con KAX

Ensayo No.9	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : Colectores adecuados	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS					
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Cu (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	AERO-3477 (gr/Tm)	A45 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	02	6.47	28						
Acondicionamiento	00	8.90	30	1000					
	02	7.34	32		500				
	04	7.46	34			75			
	05	7.50	35				50		
	06	7.48	36					30	
	08	9.50	39						16.30
Flotación	00	9.50	39						
	05	9.50	41						

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au
Concentrado	169,79	24,26	9,71	1648,66	71,99
Cola	530,21	75,74	1,21	641,55	28,01
TOTAL	700,00	100,00		2290,22	100,00
Balance =				3,27	

Tabla #32 : PRUEBA DE FLOTACION #10
Combinando un colector secundario con KAX

Ensayo No. 10	Peso del material : 700 grs.
Maestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : Colectores adecuados	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS					
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Cu (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	AERO-400 (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	02	6.28	29						
Acondicionamiento	00	8.80	30	1000					
	02	7.45	32		500				
	04	7.55	34			75			
	05	7.53	35				50		
	06	7.50						30	
	08	9.50	39						17.70
Flotación	00	9.50	39						
	05	9.50	41						

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au
Concentrado	162,89	23,27	9,83	1601,21	69,47
Cola	537,11	76,73	1,31	703,61	30,53
TOTAL	700.00	100.00		2304.82	100.00

Balance = 3,29

Tabla #33 : PRUEBA DE FLOTACION #11
Combinando un colector secundario con KAX

Ensayo No.11	Peso del material : 700 grs.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : Colectores adecuados	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 26

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Cu (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	AERO-407 (gr/Tm)	A45 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	0 2	6.26	29						
Acondicionamiento	00	8.68	30	1000					
	0 2	7.48	32		500				
	04	7.54	34			75			
	0 5	7.51	35				50		
	0 6	7.48	36					30	
	0 8	9.50	39						17.20
Flotación	00	9.50	39						
	0 5	9.50	41						

FRACCION	PESO (grs)	PESO %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION %Aa
Concentrado	190,83	27,26	9,13	1742,28	77,38
Cola	509,17	72,74	1,00	509,17	22,62
TOTAL	700.00	100.00		225 1.45	100.00

Balance = 3,22

Tabla #35 : PRUEBA DE FLOTACION #13
variando el tiempo de flotación.

Ensayo No.13	Peso del material : 1 Kg.
Muestra : Compósito	Peso del líquido : 2 Kgs.
Objetivo : Tiempo de flotación adecuado	Granulometría : Natural
	% de sólidos : 33.3

OPERACIONES	TIEMPO (min)	pH	TEMP. (°C)	REACTIVOS UTILIZADOS					
				SiO3Na2 (gr/Tm)	SO4Ca (gr/Tm)	KAX (gr/Tm)	AERO-407 (gr/Tm)	A-65 (gr/Tm)	CO3Na2 (gr/Tm)
Agitación	02	6.32	28						
Acondicionamiento	00	8.55	30	1000					
	02	7.30	32		500				
	04	7.40	34			75			
	05	7.37	35				50		
	06	7.35	36					30	
	08	9.50	39						16.50
Flotación	00	9.50	39						
	06	9.50	42						

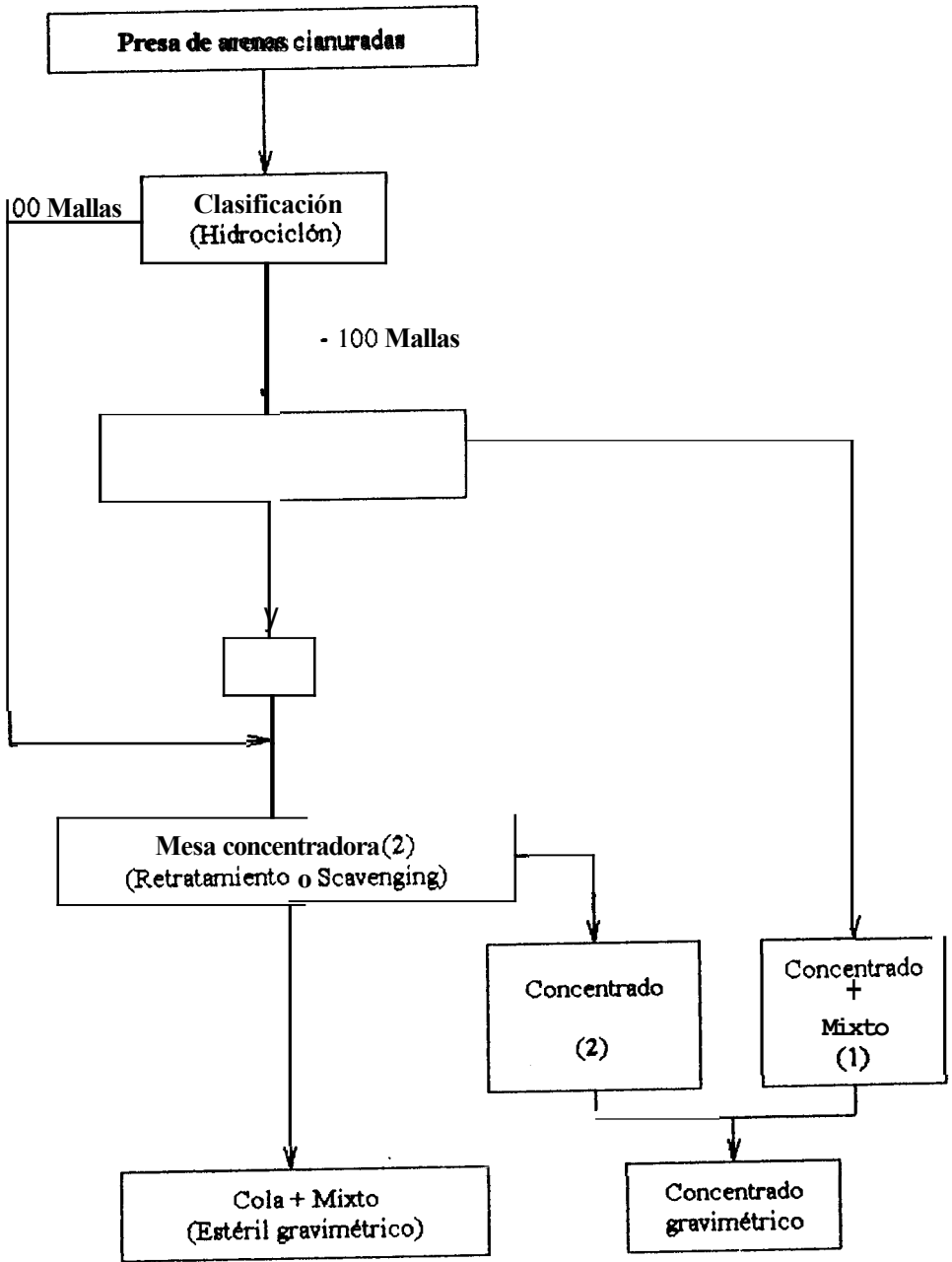
FRACCION	PESO (grs)	PESO %	PESO ACUM %	LEY (gr/Tm)	Au (mg)	RECUPERACION % Au	% REC. Au ACUM
CONC-2 min	187,18	18,72	18,72	11,88	2223,70	62,85	62,85
CONC-4 min	50,75	5,08	23,80	5,50	279,13	7,89	70,74
CONC-6 min	28,14	2,81	26,62	2,63	74,01	2,09	72,83
COLA	733,92	73,39	100,00	1,31	961,44	27,17	27,17

Balance = 3,54

**Tabla # 36: ANALISIS QUIMICO DE
LOS CONCENTRADOS**

ELEMENTOS	VALORES
Au	(8 - 12) ppm
Ag	(33 - 44) ppm
Cu	(1.34 - 1.48)%
Pb	(0.04 - 0.06) %
Zn	(0.07 - 0.08) ‰
Fe	(37.2 - 40.6) %
As	(3.04 - 4.45) %
Al	(0.12 - 0.25) %
Ca	(0.26 - 0,51) ‰
Cd	(21 - 26) ppm
Sb	(559 - 807) ppm
CO	(273 - 330) ppm

DIAGRAMA #3 :FLUJO METALURGICO EMPLEANDO MESAS CONCENTRADORAS (PLANTA PILOTO)



**DIAGRAMA #4 : FLUJO METALURGICO DE FLOTACION
(PLANTA PILOTO)**

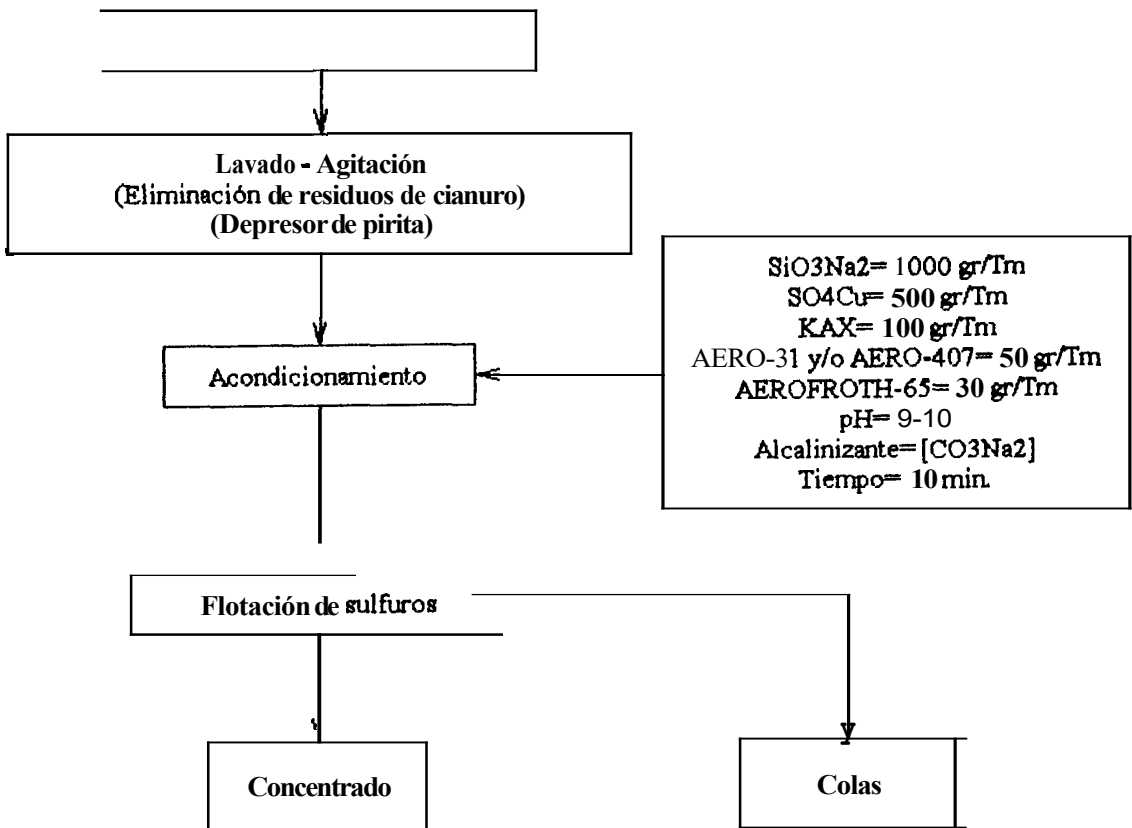
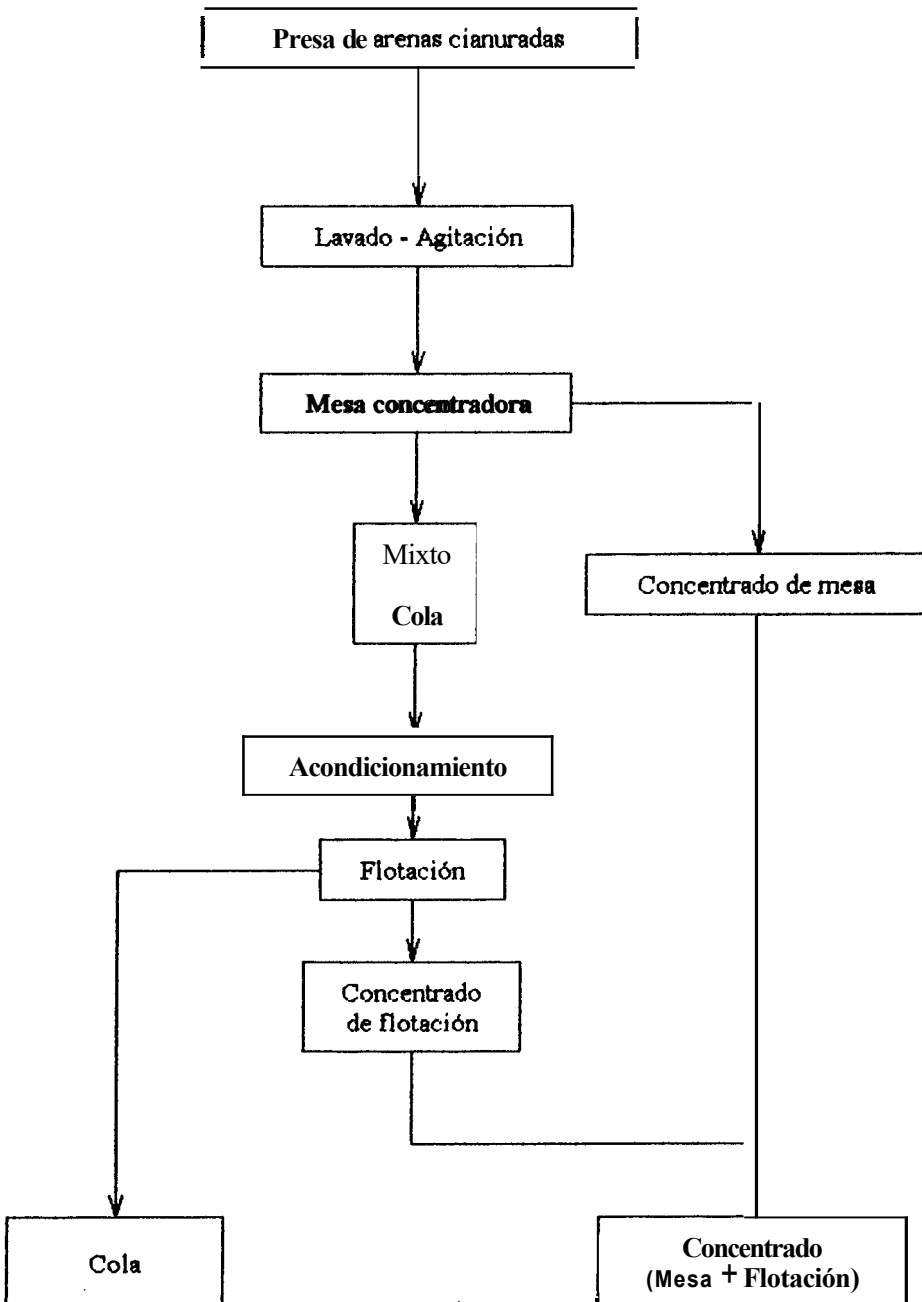


DIAGRAMA #5 : FLUJO METALURGICO COMBINANDO
MESA CONCENTRADORA Y FLOTACION



**DIAGRAMA #5 : FLUJO METALURGICO COMBINANDO
MESA CONCENTRADORA Y FLOTACION**

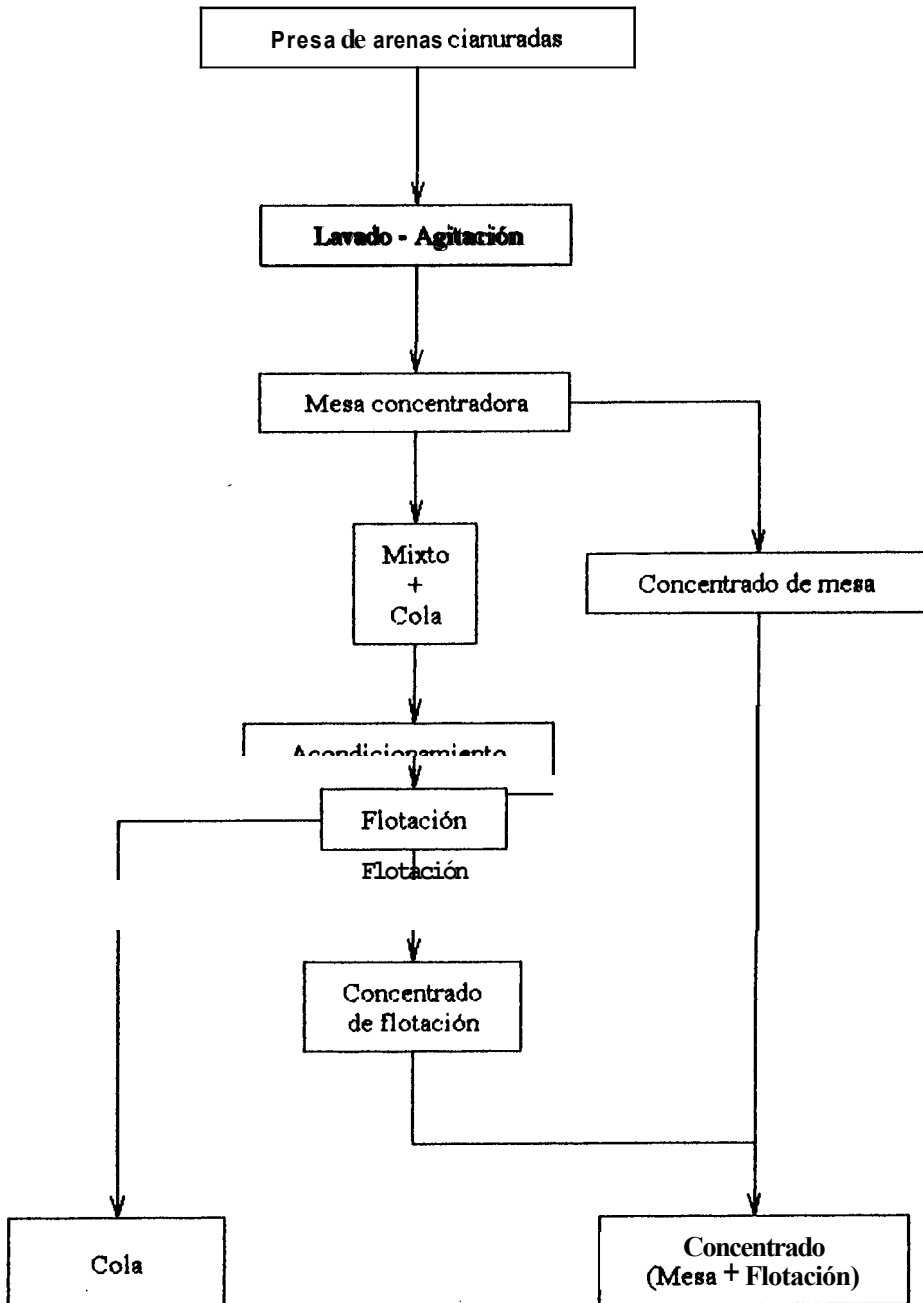


Figura #7 : ESQUEMA DE OPERACION PARA LA PLANTA PILOTO DE CONCENTRACION Y RECUPERACION

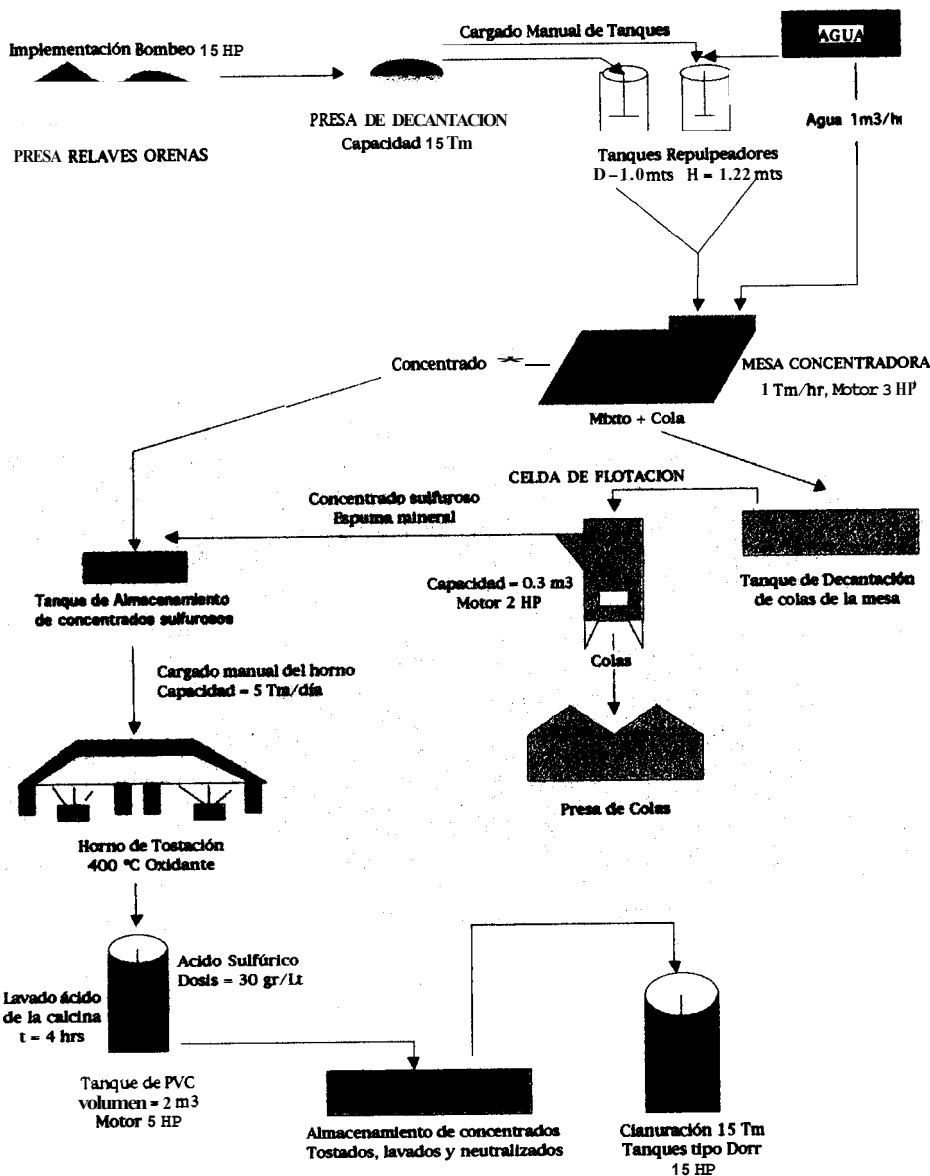




Foto #1: Presa de arenas cianuradas y ubicación de pozos de muestreo.

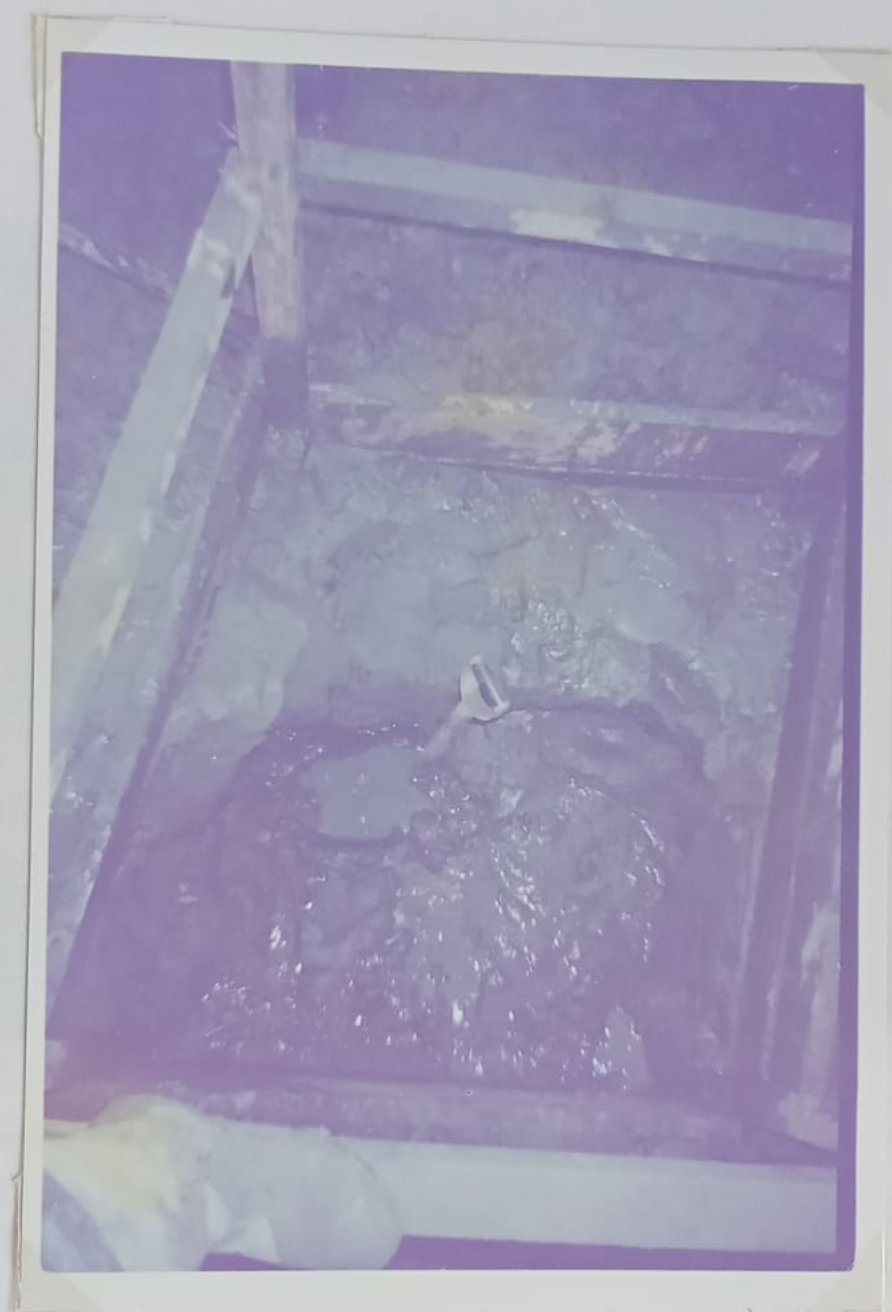


Foto #2 : Pozo de muestreo #4.

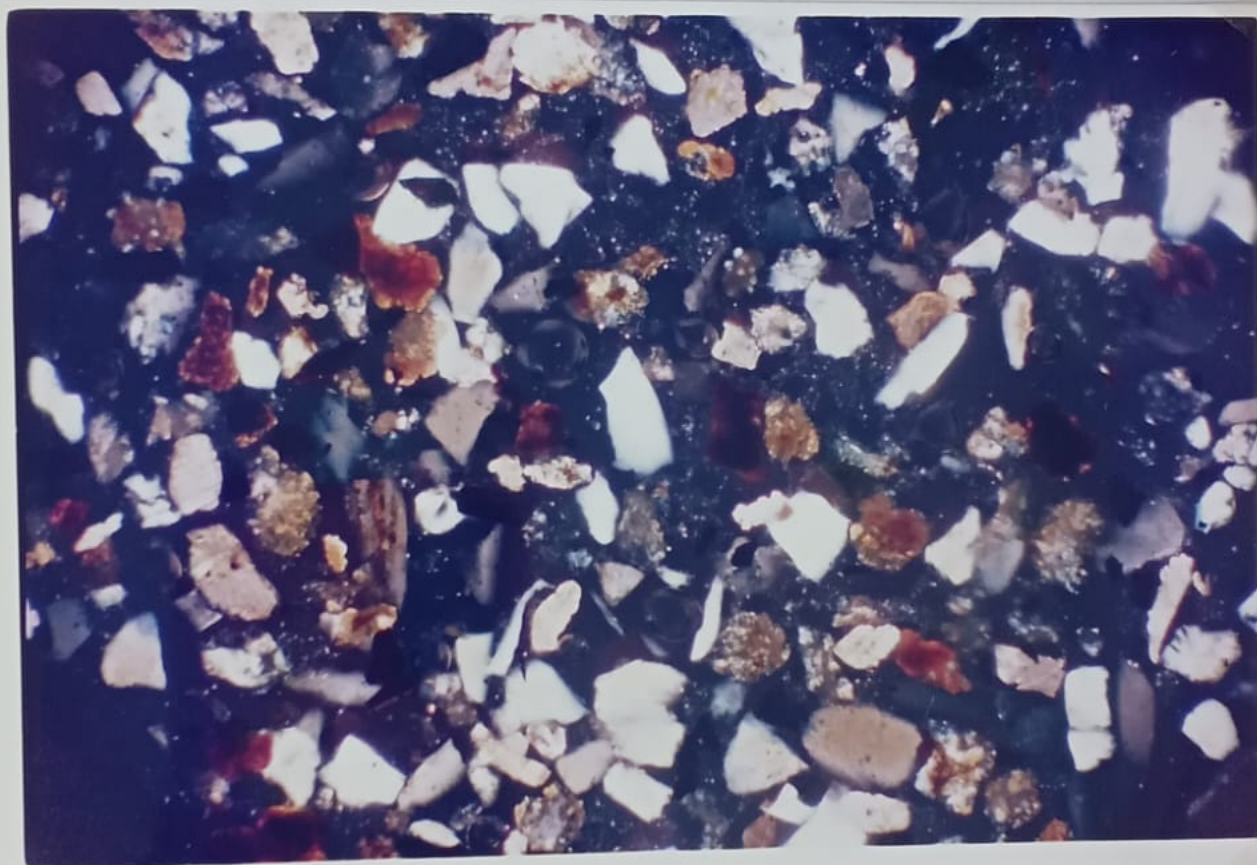


Foto #3.1 : Formas y tamaños de minerales livianos, presencia de granos subangulares de cuarzo, feldespatos, calcita y óxidos de hierro. (NC : 8 x 10).



Foto #3.2 : Descomposición de minerales opacos en óxidos de hierro, bordes oxidados con matriz opaca (sulfuros). (NC : 16 x 10).

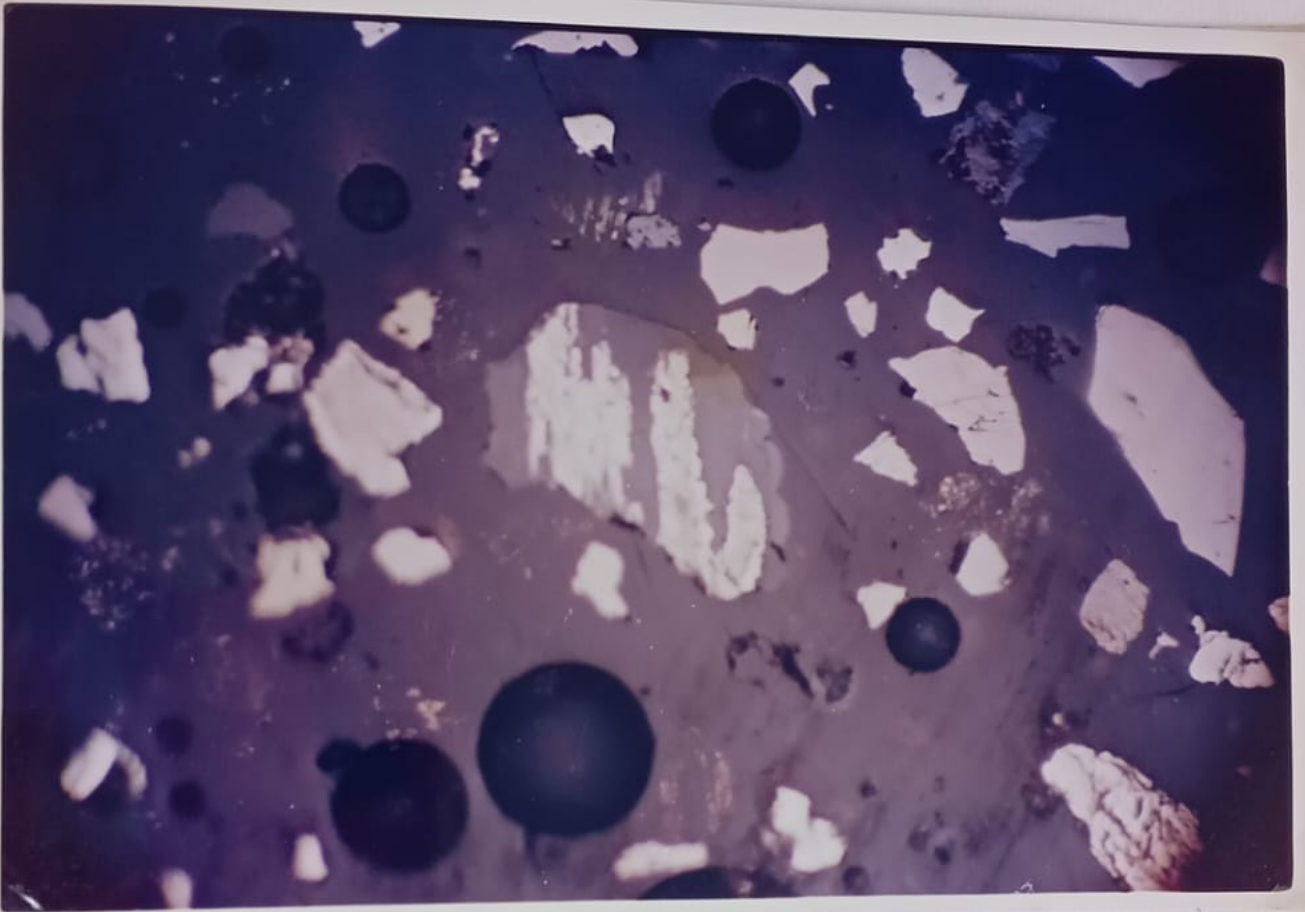


Foto #3.3 : Textura de reemplazo orientado de pirita en cuarzo. (NP : 16 x 10).

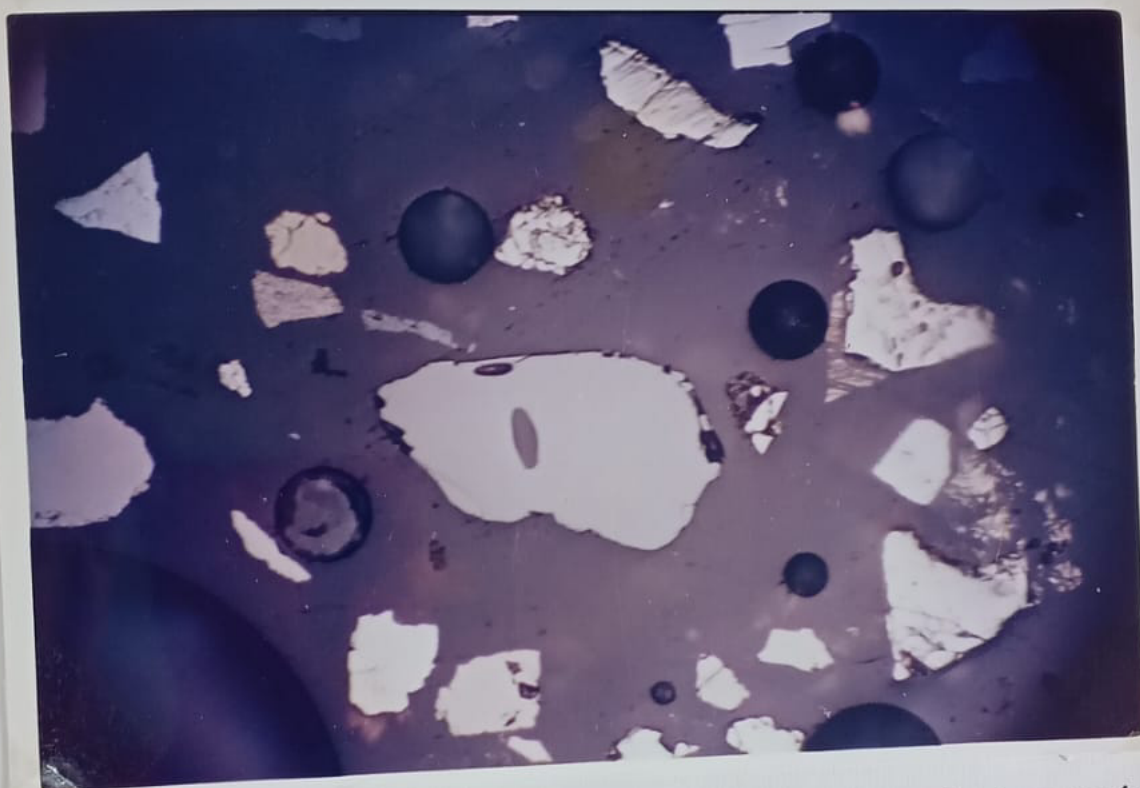


Foto #3.4 : Grano de esfalerita con inclusión de cuarzo. Se observan además granos de pirita, arsenopirita y calcopirita. (NP : 16 x 10).

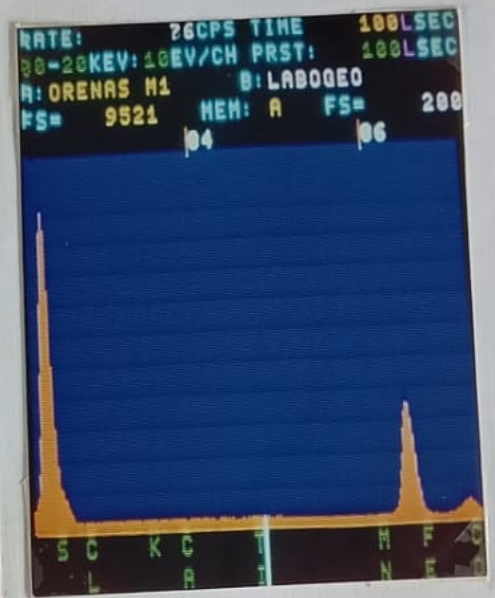
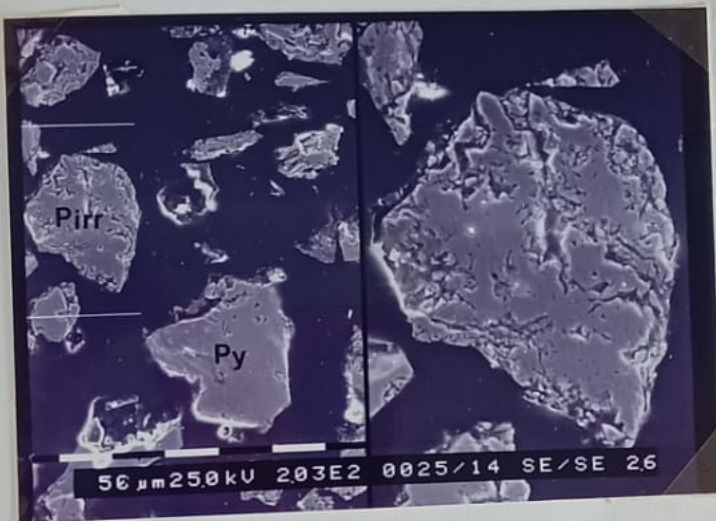


Foto #4.1 : Izquierda: Grano de pirita y pirrotina con ampliación de grano pirrotinoso.
Derecha: Espectro elemental de pirita.

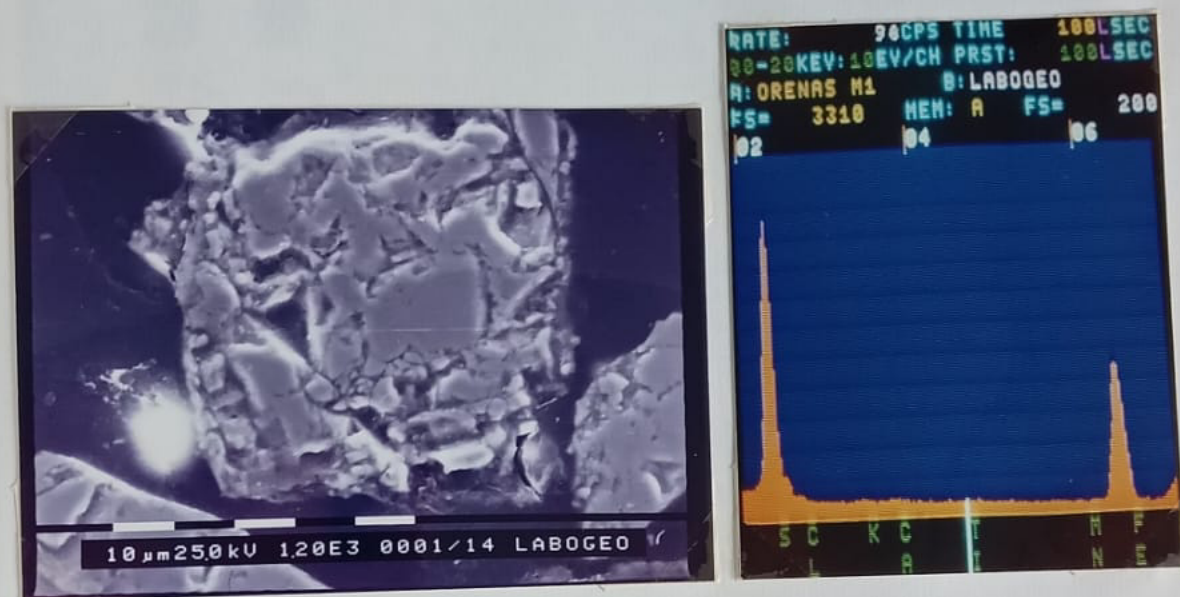


Foto #4.2 : Izquierda: Grano subhedral de pirrotina, exhibe intenso fracturamiento.
Derecha: Espectro elemental de pirrotina.



Foto #5 : Pruebas de cianuración en botellas.



Foto #6 : Prueba de concentración en mesa.



Foto #7.1 : Pulpa agitada en celda de flotación.



Foto #7.2 : Flotación de sulfuros.

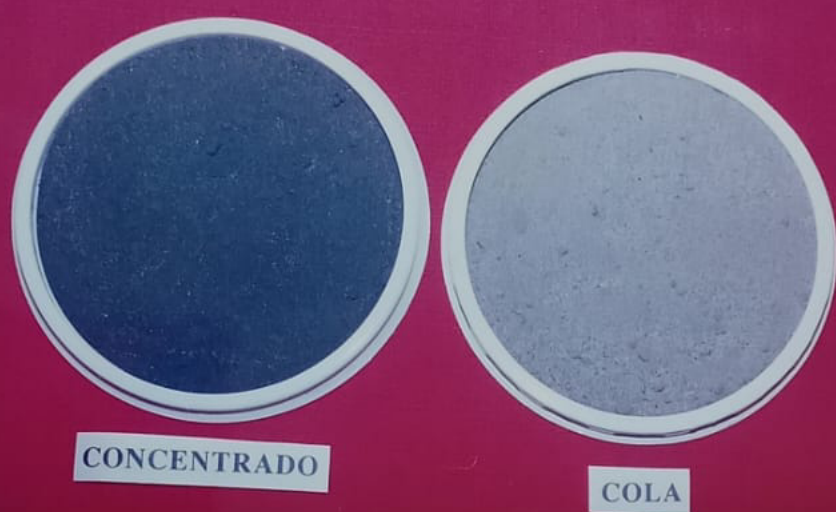


Foto #8 : Muestras secas del concentrado y cola de flotación.

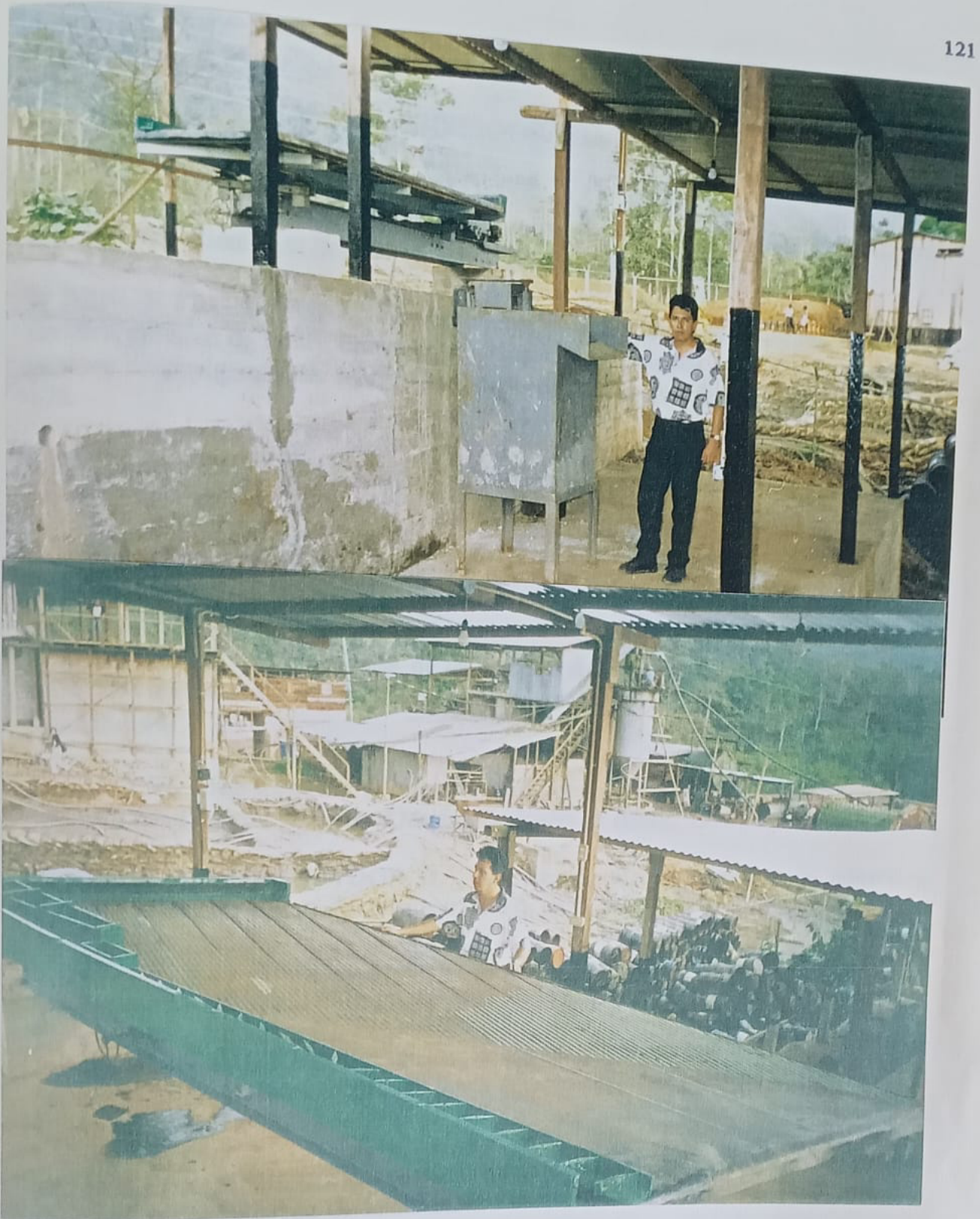
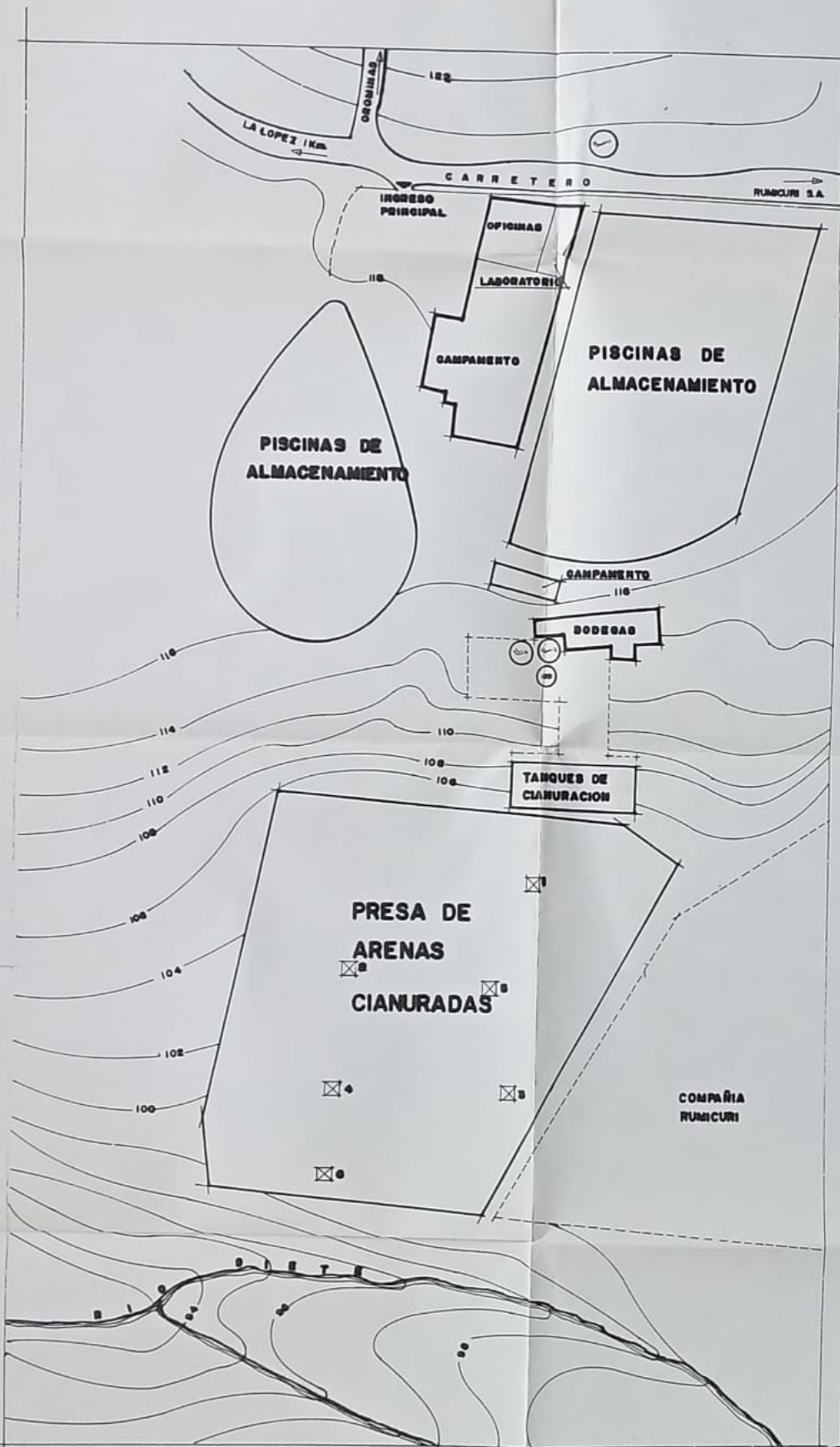


Foto #9 : Planta piloto de concentración.

BIBLIOGRAFIA

1. **ALLIS CHALMERS**, Operaciones unitarias en procesos de concentración gravitacional. (Santiago: Seminario, Intec, **1987**), pp. **29-31, 67-73**.
2. **BENGT FAGERBERG**, Investigaciones de laboratorio en muestras de mineral aurífero del área de Ponce Enríquez y evaluación de métodos para la eliminación del proceso de amalgamación. (Quito: Memorias del Seminario Aurífero, **1996**), pp. **159-178**.
3. **BUGBEE EDWARD**, A textbook of fire assaying. (Colorado: Colorado School of Mines, **1984**), pp. **149-190**.
4. **CYANAMID**, Manual de productos químicos para minería. (México: American Cyanamid, **1986**), pp. **12-21, 67-112**.
5. **DE CUYPER**, Conclusiones de un estudio de tratamiento mineralúrgico de los minerales auríferos de Bella Rica. (Quito: Memorias del Seminario Aurífero, **1996**), pp. **143-148**.
6. **GUAY W.**, The treatment of refractory gold ores containing carbonaceous material and sulfides. (Tucson: Society of Mining Engineers of AIME, **1990**), pp. **17-22**.
7. **KELLY E.-SPOTTISWOOD D.** , Introducción al procesamiento de minerales. (México: Sistemas editoriales técnicos, **1990**), pp. **279-300**.
8. **KING R. P.** , Principles of flotation. (Johannesburg: South-African Institute of Mining and Metallurgy, **1982**), pp. **85-89, 159-198**.
9. **LENAHAN-MURRAY-SMITH**, Assay and analytical practice in the South African Mining Industry. (Johannesburg: The South African Institute of Mining and Metallurgy, **1986**), pp. **41-55, 203-209**.
10. **LOZADA MARCELO**, Procesamiento de las arenas de la mina de Ponce Enríquez. (Quito: Revista de Información Técnico-Científica, Espon, **1993**), pp. **142-153**.
11. **MARSDEN J. - HOUSE I.** , The chemistry of gold extraction. (Hemel Hempstead: Independent Metallurgical Consultant, Ellis Horwood, **1992**), pp. **123-130, 281-284, 423-446**.
12. **PIMENTEL DIEGO** , Estudio mineralúrgico para la recuperación de estibina, yacimiento Loma Larga. (Guayaquil: Tesis, Espol, **1990**), pp. **106-125, 176-185**.



UBICACION.—

PARROQUIA : PONCE ENRIQUEZ

CANTON : PUCARA

PROVINCIA : AZUAY

ORENAS S.A.

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

ESCALA
1:— 500

DIBUJADO POR:

WILFRIDO RODRIGUEZ.

L. I

L

SIMBOLOGIA.—

- POZO DE MUESTREO
- RESERVOIRO DE AGUA
- TANQUE AGITADOR
- CARRETERO
- RIO

FIG. 2.— LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LA PRESA DE ARENAS CIANURADAS