



1
622.34
M239.
e.2.

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

**GLOMERACION DE PARTICULAS PREVIO A LA PERCOLACION
DE LAS ARENAS DEL SECTOR "LA INDEPENDENCIA"**

TOPICO DE GRADUACION

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:
INGENIERO EN GEOLOGIA

Presentada por
FREDDY MALAVE REINOSO

Guayaquil- Ecuador
1992

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido a toda esa familia de profesores, alumnos y trabajadores que integran la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, en especial al Ing. Hugo Eguez Alava, Director de este Tópico.

A mis amigos y compañeros de estudio durante toda mi carrera universitaria.

DEDICATORIA

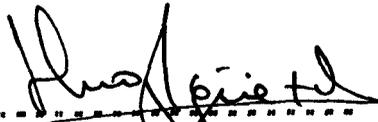
A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI FAMILIA

A MI ABUELITA (+)

Por brindarme el apoyo necesario para que culmine mi carrera.



.....
Hugo Eguez Alava
DIRECTOR DEL TOPICO



.....
Ing. Ricardo Gallegos Orta
DECANO DE LA FACULTAD DE ICT



.....
Ing. Walter Camacho Navarro
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Exámenes y Titulos Profesionales de la ESPOL).

.....
Freddy Malavé Reinoso



BIBLIOTECA

RESUMEN

Como parte de una misión para **asegurar** un adecuado suministro doméstico de metales esenciales para el bienestar de la nación, el Departamento de Mineralurgia de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la **ESPOL**, ha investigado una técnica de aglomeración de partículas como una forma mejorar el flujo de percolación de una solución a través de pilas de material arcilloso o finamente triturado de menas de oro y plata de bajo grado.

Experimentos en plantas piloto han mostrado que la tasa de percolación de una solución filtrante de cianuro, fue considerablemente mejorando por la mezcla de la mena con **cemento** Portland, humedeciendo la mezcla y aglomerándola mecánicamente previo al establecimiento de la pila y su filtración.

La tasa o el porcentaje de recuperación de oro y plata ha crecido marcadamente porque se ha incrementado en forma uniforme la percolación de la solución filtrante a través del material aglomerado.

INDICE GENERAL

PAGS .

RESUMEN	VI
INTRODUCCION	16
Ubicaci3n de la zona.....,.....	18
CAPITULO 1	
AGLOMERACION DE MINERALES DE ORO Y PLATA	
1.1 ASPECTOS GENERALES	20
1.2 POR QUE SE REQUIERE AGLOMERAR LOS MINE- LES DE ORO?.	23
1.3 MECANISMOS DE LA AGLOMERACION	24
1.4 VARIABLES OPERATIVAS DE LA AGLOMERACION.....	27
1.4.1 Tama1o de la partcula	28
1.4.2 Dosis de aglomerante	29
1.4.3 Humedad.....	29
1.4.4 Aglomeradores	30
CAPITULO 11	
LIXIVIACION EN PILAS PARA RECUPERACION DE ORO Y PLATA EN RECURSOS DE BAJO GRADO	
2.1 EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO	39
2.2 INVESTIGACION DE AGLOMERANTES	42
2.3 INVESTIGACION DE VARIABLES DE PROCESO SOBRE UNA PLANTA PILOTO.....	46



BIBLIOTECA

2.3.1 Efecto de la adición de cemento Portland sin aglomeración sobre la tasa de flujo.....	46
--	-----------

2.3.2 Efecto de la adición de cemento Portland con aglomeración sobre la tasa de flujo.....	47
---	-----------

2.3.3 Efecto de la adición de agua sobre la tasa de flujo.....	51
---	-----------

CAPITULO 111

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL CONCENTRADO Y LAS COLAS DE CANALON

3.1 MATERIAL CONCENTRADO.....	53
--------------------------------------	-----------

3.2 MATERIAL DE COLAS DE CANALON.....	55
--	-----------

CAPITULO IV

PRUEBAS DE AGLOMERACION REALIZADAS EN EL LABORATORIO

4.1 EQUIPOS Y MATERIALES DE AGLOMERACION.....	57
--	-----------

4.2 PROCEDIMIENTO.....	57
-------------------------------	-----------

4.3 MATERIAL SIN AGLOMERAR.....	59
--	-----------

4.4 AGLOMERACION DE LAS COLAS DE CANALON CON 10 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND.....	59
--	-----------

4.5 AGLOMERACION DE LAS COLAS DE CANALON CON 20 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND.....	60
--	-----------

4.6 AGLOMERACION DE LAS COLAS DE CANALON CON 40 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLANO.....	61
--	-----------

4.7 CONCLUSIONES PARCIALES DE AGLOMERACION.....	62
--	-----------

CAPITULO V

PRUEBAS DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO Y LAS COLAS DE CANALON REALIZADOS EN EL LABORATORIO

5.1 EQUIPOS Y MATERIALES DE PERCOLACION.....	65
---	-----------

5.2 PROCEDIMIENTO.. .. .	66
5.3 CIANURACION	66
5.3.1 Determinación de la concentración de cianuro	67
5.3.2 Determinación de la concentración de cal	68
5.4 PRUEBA DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO	69
5.5 PRUEBA DE PERCOLACION PARA LAS COLAS DE CANALON	76
5.6 METODO DE CHIDDEY	81
5.6.1 Procedimiento	82
5.7 ANALISIS ESPECTRAL POR ABSORCION ATOMICA	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
ANEXOS	
ANEXO A	
DATOS DEL MATERIAL SIN AGLOMERAR	90
ANEXO B	
CALCULOS PARA LA ADICION DE CEMENTO FORTLAND AL MATERIAL	92
ANEXO C	
PREPARACION DE SOLUCIONES PARA LA TITULACION	94
ANEXO D	
EJEMPLO PARA LA TITULACION DEL CN	96
ANEXO E	
EJEMPLO PARA LA TITULACION DE LA CAL	97
ANEXO F	
METODO DE CHIDDEY PARA EL MATERIAL CONCENTRADO	98

ANEXO G	
METODO DE CHIDDEY PARA COLAS DE CANALON	99
BIBLIOGRAFIA	100



BIBLIOTECA

INDICE DE ABREVIATURAS

g	Gramo
mg	Miligramo
Kg	Kilogramo
T	Tonelada métrica
H	Hora
MIN	Minutos
cc	Centímetros cúbicos
l	Litro
ml	Mililitro
PPM	Partes por millón
°C	Grado centígrado
P	Porcentaje de sólidos por peso
WS	Peso de sólido
Wl	Peso líquido
M	Masa
Wt	Peso total
Wi	Peso retenido
Wi/Wt	Fracción de peso retenido
Wi/Wt	Resante acumulado
LECT Ac.Ox.	Lectura de ácido oxálico
CONC. cal	Concentración de cal
VOL	Volumen
VOL SOL	Volumen de sólido



BIBLIOTECA

VOL LIQ	Volumen de líquido
VOLo	Volumen inicial
VOLd	Volumen desplazado
PORC RECUP	Porcentaje de recuperación
LECT NIT	Lectura de nitrato de plata
ADIC CAL	Adición de cal
ADIC CIAN	Adición de cianuro

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

FIG. No	TITULO	PAGS .
1	REDUCCION DEL AREA INTERFACIAL.....	3
2	PUENTES LIQUIDOS ENTRE PARTICULAS SOLI- DAS	34
3	PUENTES O UNIONES LIQUIDAS	35
4	ESQUEMA DE UN AGLOMERADOP DE FAJA.....	36
5	CARACTER DEL MOVIMIENTO DE MATERIAL EN EL DISCO PELETIZADOR.....	37
6	CARACTER DEL MOVIMIENTO DEL MATERIAL EN EL TAMBOR PELETIZADOR.....	36
7	COLUMNA FILTRANTE.....	40
8	CANALON PELETIZADOR.....	45



BIBLIOTECA

GRAFICO No

TITULO

PAGS .

1	CURVA GRANULOMETRICA PARA EL MATERIAL CONCENTRADO.	54
2	CURVA GRANULOMETRICA PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON.....	56
3	CONSUMO DE CAL Y CIANURO PARA EL MATERIAL CONCENTRADO.....	72
4	PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO VS. TIEMPO DE LIXIVIACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO.....	74
5	CONSUMO DE CAL Y CIANURO PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON.....	78
6	PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO VS. TIEMPO DE LIXIVIACION PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON.....	80

INDICE DE TABLAS

No	TITULO	PAGS.
1	CURVA GRANULOMETRICA PARA EL MATERIAL CONCENTRADO	53
11	CURVA GRANULOMETRICA PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON	55
III	COLAS DE CANALON SIN AGLOMERAR	59
IV	AGLOMERACION DE COLAS DE CANALON CON 10 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND	60
V	AGLOMERACION DE COLAS DE CANALON CON 40 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND	61
VI	LECTURAS DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO	70
VII	CONSUMO DE CAL Y CIANURO EN LA PRUEBA DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO ...	71
VIII	PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO vs. TIEMPO DE LIXIVIACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO	73
IX	LECTURAS DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON	76
X	CONSUMO DE CAL Y CIANURO EN LA PRUEBA DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON	77
XI	PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO vs. TIEMPO DE LIXIVIACION PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON	79



BIBLIOTECA

INTRODUCCION

La exploración realizada en el país durante los últimos años, ha identificado numerosos depósitos de oro y plata de baja ley. Recientes incrementos en los precios del oro y la plata han generado interés en el procesamiento de esas menas de bajo grado por pilas de lixiviación.

Las pilas de lixiviación con solución de cianuro, tienen potencial aplicación para algunos de esos materiales de bajo grado.

Para que las pilas de lixiviación tengan éxito, el material debe tener buena permeabilidad después de haber sido amontonado en pilas, para que así la solución filtrante percole uniformemente por toda la pila.

Segregación de finos y partículas arenosas ocurre durante el amontonamiento del material seco sobre una pila y segregación adicional ocurre durante la filtración en la pila. **Los** problemas de porosidad y permeabilidad que pueden ocurrir durante la filtración **son** causados por la segregación de material fino. Para evitar estos problemas el material **muy** fino debe ser uniformemente distribuido en toda **la** pila durante el amontonamiento.

La arcilla excesiva o finos impide un flujo uniforme **de**

percolación de la solución filtrante.

Laboratoristas han mostrado que las tasas del flujo de percolación de soluciones filtrantes de cianuro aumenta por la mezcla de la mena con cal y/o cemento Portland con agua mediante aglomeración mecánica y así se prepara la muestra previamente a la pila de lixiviación.

El objetivo de este trabajo fue para investigar la cantidad de aglomerante para el pre-tratamiento de las partículas y posteriormente someter el material a pruebas de percolación para lograr resultados satisfactorios y así transferir la tecnología a la pequeña y gran industria.



UBICACION DE LA ZONA

BIBLIOTECA

El sector denominado "la Independencia", ubicada en Santa Martha, cantdn Ponce Enriquez, localizada al Sur-Occidente del país en los límites entre las Provincias de Azuay, Guayas y El Oro, está delimitada por las siguientes coordenadas : entre 79 36'51" y 79 46'29" longitud oeste y 03 01'13" y 03 07'46" latitud sur.

Esta zona ha adquirido un auge significativo en el sector minero apenas desde 1983. Esta zona comprende amplios sectores donde se observan vetas con minerales auríferos de leyes altas que involucran varias poblaciones y distritos mineros como los de Santa Martha.

En estas zonas existen dos tipos de procesos para recuperar el oro: por el método de cianuración, siendo el más difundido por su simplicidad el de percolación. El ciclo de lixiviación-recuperación dura aproximadamente un mes y la concentración de la solución de cianuro fluctúa entre 0,05 - 0,1 %; sin embargo, existen propietarios de percoladoras sin mayor conocimiento del manejo de soluciones que aumentan exageradamente la concentración de cianuro, pensando que con esto pueden obtener mejores recuperaciones del metal.

El otro tipo de proceso es el de agitación. En las plantas cianuradoras que aplican este método se ha podido

comprobar que tiene un mejor control de las soluciones de cianuro debido a que hay un técnico de planta permanente.

En la zona de Ponce Enriquez la compra-venta de oro se realiza en los asentamientos de las cooperativas mineras de Bella Rica Santa Martha y en la población de Ponce Enriquez.



BIBLIOTECA

CAPITULO I

AGLOMERACION DE MINERALES DE ORO Y PLATA

1.1 ASPECTOS GENERALES

En las operaciones de concentración de minerales y de lixiviación, la reducción de tamaños y especialmente la molienda representan los mayores costos operativos. En el caso específico de la lixiviación de oro y plata, si el mineral puede exponer sus elementos valiosos a las soluciones lixiviantes sin requerir reducciones finas de tamaño, los costos generales del proceso caen drásticamente y favorablemente.

La técnica de la lixiviación en pilas se basa en esta consideración y consiste en cianurar minerales de oro y plata, apiladas sobre superficies previamente preparadas o impermeabilizadas y con pendientes adecuadas.

Estas capas impermeables serán protegidas por una capa de grava o guijarros de modo tal, que no sean desgastadas por el mineral apilado. El mineral será

de tamaño grueso aunque también podrá ser triturado a tamaños pequeños (malla # 10). Las pilas tendrían altura de hasta 6 metros y serdn irrigadas con solii-ciones de cal para lograr una alcalinidad deseada (ph entre 10,5 - 11,5), y luego por soluciones de cianuro de 0,5 a 2,0 gramos/litro, las cuales atravezarán o drenarán a travds del mineral disolviendo oro y plata hasta llegar al piso impermeabilizado, y caer debido a la pendiente de éste, a canales de donde serán enviadas a tanques de almacenamiento para su poste-rior precipitación con polvo de zinc.

La importancia de la lixiviación en pilas radica en dos factores:

- a) No requiere de molienda fina, ni etapas de agita-cidn.
- b) No requiere de las etapas de separación sólido-liquido del proceso tradicional.

Estas ventajas son concluyentes para minerales de bajo grado y operaciones de baja capacidad.

Una ventaja adicional de la lixiviación en pilas, es la posibilidad de electrodepositar las soluciones procedentes de la pila directamente, sin necesidad de etapas de adsorción, desorcidn con carbón activado y la regeneración de éste mediante tratamientos térmi-cos, procesos que incrementan los costos de capital y



operativos de las plantas. Esta posibilidad se concretaría si las soluciones de lixiviación tuvieran suficiente concentración de oro y plata.

Hasta este punto se ha mostrado a la lixiviación en pilas como una técnica muy buena y prácticamente sin competencia para minerales de bajo grado. Sin embargo, existen varios factores que limitan su aplicación. Nombraremos a dos de los más importantes:

- 1) La permeabilidad de la pila, que al ser mala, no permite el drenaje de las soluciones.
- 2) El factor mineralógico.

Anteriormente, se había indicado que los minerales que podrían ser tratados por la lixiviación en pilas, debían tener como característica el permitir que las soluciones lixiviantes pudieran difundir hasta el oro y disolverlo.

Los minerales en los cuales el oro se encuentra totalmente diseminado o en probables soluciones sólidas con sulfuros (piritas y arsenopiritas principalmente) presentan una gran refractoriedad a procesos de cianuración aún luego de moliendas finas.

Estos minerales no podrán ser tratados por el proceso tradicional de la lixiviación en pilas, ya sea por la imposibilidad de difusión del cianuro hasta el oro o por efectos pasivantes de ciertos iones.

1.2 POR QUE SE REQUIERE AGLOMERAR LOS MINERALES DE ORO?

Las pilas diseñadas para la lixiviación en pilas deben poseer una buena permeabilidad y permitir un drenaje uniforme de las soluciones de lixiviación a través de la pila.

Los minerales suaves, precisamente aquellos en los **que** se obtienen mayores recuperaciones en pruebas de laboratorio, tienen tendencia a presentar finor aún inmediatamente después del minado, tendencia que se agudiza si existen etapas de trituración previamente al apilamiento del mineral. **Los** minerales arcillosos son el caso típico de esta situación. Como consecuencia, las soluciones lixiviantes no drenarán por la acción impermeabilizante de los finos, o lo harán no uniformemente, formando canales a través de la pila.

Hasta este punto existe una contradicción que debe ser superada. Por un lado se requiere triturar el mineral con **la** consiguiente formación de finos, a fin de hacer que las soluciones de cianuro puedan **ir** por al oro y disolverlo, y por otro lado, se requiere que no se produzca finos **ya** que estos disminuyen la permeabilidad de la pila y el drenaje de la solución lixiviante será dificultoso.

La aglomeración de minerales **se** realiza precisamente

con el fin de minimizar estas tendencias extremas y básicamente consiste en formar partículas grandes a partir de otras pequeñas eliminando de esta forma los finos y simultáneamente obteniendo partículas porosas por las cuales podrá difundir fácilmente el cianuro.

1.3 MECANISMOS DE LA AGLOMERACION

En forma general se puede afirmar que la aglomeración se debe a la tendencia de un sistema compuesto principalmente por partículas y en menor proporción por líquido sin disminuir su energía libre superficial mediante la reducción del área interfacial agua-aire (Ver Fig. # 1), por fuerzas de adhesión originadas debido a cualquiera de los siguientes mecanismos:

- 1.- Fuerzas de adhesión del tipo Van der Waals que aparecen por dipolos permanentes o instantáneos originados en las moléculas. Estas fuerzas son similares a las que se presentan en tres capas de silicatos de estructura laminar, tales como la pirófilita, talco o sulfuros como la molibdenita.
- 2.- Fuerzas atractivas electrostáticas que aparecen como consecuencia de potenciales de contacto o de interfase.
- 3.- Exceso de carga en las partículas que para el caso específico de materiales no conductores

produce fuerzas de tipo coulombico.

- 4.- Fuerzas de atracción magnética, originadas por las características ferromagnéticas o paramagnéticas de las sustancias.
- 5.- Uniones líquidas o puentes de líquidos entre partículas tal como se indica en la Fig. # 2.

Aparecen debido a fenómenos de mojabilidad o tensión superficial, es decir, los sólidos al tener una energía libre por unidad de área, debido a los enlaces desbalanceados de su superficie, tenderán a disminuirla interaccionando con el líquido (proceso de mojado) formando los puentes o uniones líquidas que pueden ser de forma tal que el líquido cubra parcial o totalmente a las partículas envolviéndolas o no. (Ver Fig. # 3).

- 6.- Presión capilar en espacios porosos llenos de líquido.
- 7.- Agentes enlazantes de alta viscosidad de uso generalizado en la industria farmacéutica para aglomerar en tabletas. Básicamente, la unión entre partículas se origina al poner **estas** en contacto con un líquido viscoso, el cual al solidificarse cristaliza atrapando las partículas.
- 8.- Uniones sólidas que pueden establecer puentes

entre partfculas de maneras diferentes:

- Por cristalizaci3n de sales.
- Por adhesi3n, debido a reacciones qu3micas.
- Por crecimiento de granos cristalinos.

Los mecanismos citados tendr3n diferentes grados de importancia de acuerdo a los procesos para los cuales son empleados.

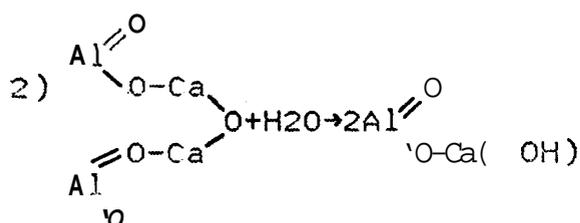
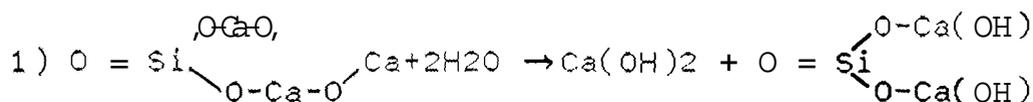
En el caso de la aglomeraci3n de minerales de oro y plata, son varios los mecanismos que intervienen, pero los m3s importantes son las uniones l3quidas y s3lidas debidas al endurecimiento de aglomerantes inorg3nicos y org3nicos, tales como la cal el cemento, carbonatos, sulfatos, boratos, bentonitas, arcillas, diatomitas, soluciones de sulfito, residuos de petroleo, dextrina, almid3n, pulpas de papel, etc.

* B3sicamente un buen aglomerante **debe** tener las siguientes caracteristicas:

- a) Servir3 como medio de adherencia entre las partfculas favoreciendo las fuerzas de cohesi3n.
- b) No debe contaminar el mineral. Se usar3 en bajas cantidades de modo que no interfiera en el proceso para el cual **se** aglomera.
- c) Su granulometria ser3 tal que ocupe los vol3menes intersticiales entre las partfculas. .

El cemento cumple con estas condiciones y se usa

generalmente. El mecanismo por el cual se aglomera es la hidrólisis, hidratación y coagulación de sus componentes, silicatos y aluminatos de calcio, según reacciones que se indican a continuación.



El hidróxido de calcio formado en la primera reacción cristaliza y atrapa al silicato y aluminato formados también por las reacciones. Este conjunto, hidróxido-silicato-aluminio, forma los puentes sólidos entre las partículas aglomerándolas. El producto final obtenido se denomina pellet.

VARIABLES OPERATIVAS DE LA AGLOMERACION

En una operación industrial se debe lograr aglomerados lo suficientemente compactos que resistan los procesos de apilamiento - manipuleo y simultáneamente lo suficientemente porosos que permitan el drenaje de las soluciones lixiviantes.

Empezaremos citando la forma cómo se controla las

características de los aglomerados:

La prueba más común y simple de realizar es la prueba de caída que consiste en dejar caer individualmente 10 aglomerados recientemente preparados sobre una plancha de acero desde una altura de 45 centímetros. La media aritmética del número de caídas que los aglomerados soportan sin romperse es el DROP NUMBER. Este número no debe ser menor a 6. Otra prueba comúnmente utilizada es la resistencia a la compresión que consiste en someter a los aglomerados a presión gradual mediante un probador tipo balanza; debajo hasta romperlo mediante pesos añadidos al platillo, luego se determina el peso añadido siendo el resultado la resistencia del aglomerado a la compresión. Esta prueba puede realizarse con los aglomerados húmedos o luego fraguarlos durante 24 horas.

Las características de los aglomerados depende fundamentalmente de las variables que se citan a continuación:

1.4.1 Tamaño de la partícula

A mayor tamaño de la partícula, la permeabilidad de los aglomerados será mayor y se requerirá menor humedad y dosis de aglomerante. Las partículas finas (relaves por ejemplo) requerirán altos consumos de cemento.

1.4.2 Dosis de aglomerante

La dosificación puede ser exclusivamente de cemento o de mezclas de cal y cemento, aunque la primera es la **más** recomendable por el mayor precio de la cal, la cual deberá **ser** usada si se comprueba experimentalmente que con el cemento no basta para lograr soluciones de pH mayor a 10.5 requeridas para la cianuración.

1.4.3 Humedad

Como se indicó previamente el porcentaje de humedad requerido para la aglomeración está condicionado por la distribución de tamaños de partículas. Un método práctico para determinar un rango adecuado **de** humedad para la aglomeración es formar una pulpa con el mineral y luego filtrarlo, el porcentaje de humedad de la **masa, será** una primera aproximación al valor óptimo.

La humedad requerida se puede lograr con agua o con soluciones fuertes o débiles de cianuro. Si se procede de la segunda forma, el mineral durante el proceso de fraguado estará sometido a una reacción de curado que acelera la cinética de extracción del oro e incrementa las

concentraciones de las soluciones cargadas, pero también produce una mayor disolución de cianicidas.

1.4.4 Aglomeradores

Son los aparatos en los cuales **se** realiza la aglomeración y básicamente deben producir el mezclado de mineral-aglomerante y luego favorecer la formación de uniones líquidas entre partículas de modo tal que se realice la aglomeración.

Las uniones sólidas se forman durante el fraguado. Como todo aparato continuo estos aglomeradores trabajarán mejor si su alimentación y condiciones de operación son estables.

Los tipos más comunes de aglomeradores son:

a) **AGLOMERADORES DE FAJA:** Con los que producen el menor grado de aglomeración de los tres. Podrán usarse cuando la cantidad de finos del mineral sea baja.

El funcionamiento de este tipo de aglomerador se indica esquemáticamente en la Fig. # 4.



b) AGLOMERADOR DE DISCO: Se trata de un disco rotatorio inclinado respecto a la horizontal al que se le añade agua mediante rociadores (Ver Fig. # 5).

El disco que tiene una pared periférica actúa también como mezclador. Sus principales variables operativas son: la velocidad de rotación que no debe ser excesiva para provocar la fracturación de los aglomerados; el ángulo de inclinación del disco que tendrá que ser adecuado para que el descenso de las partículas no produzca degradación sino compactación; la altura del borde periférico que al ser mayor producirá aglomerados de mayor tamaño, ya que por esta variable el disco actúa como clasificador y finalmente el diámetro que determina la capacidad del aparato.

c) AGLOMERADOR DE TAMBOR: (VER Fig # 6): Son cilindros rotatorios inclinados y que se mueven a una cierta velocidad crítica. Se mezclan el mineral y el aglomerante y se le añade agua mediante spray. En el tambor no existe clasificación de productos como en el disco lo que origina una amplia distribución de tamaños.

La carga que se debe alimentar al tambor debe ser baja a fin de producir un adecuado efecto cascada y generalmente es el 5 % del volumen del tambor.

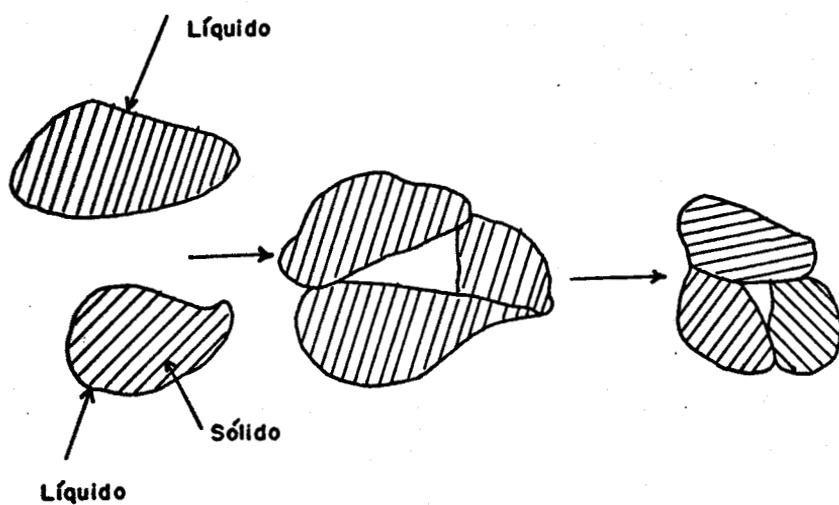


FIG. I REDUCCION DEL AREA INTERFACIAL



BIBLIOTECA

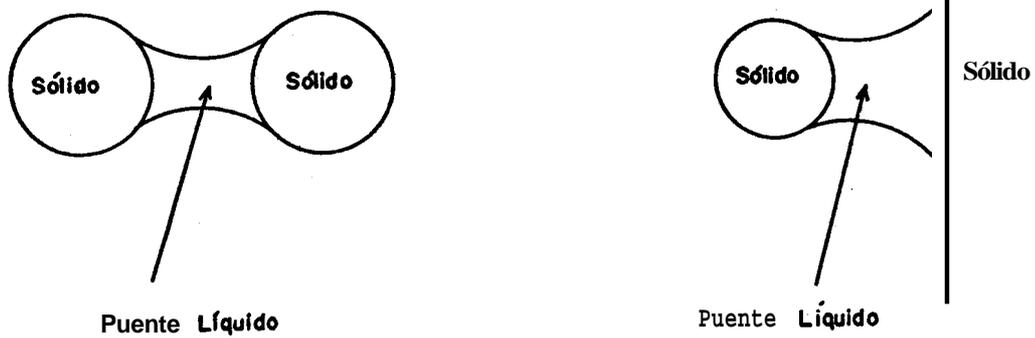


FIG. 2 PUENTES LIQUIDOS ENTRE PARTICULAS SOLIDAS

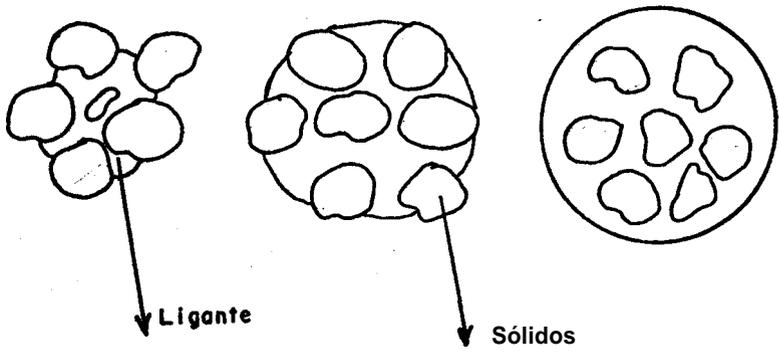


FIG: 3 PUENTES O UNIONES LIQUIDAS

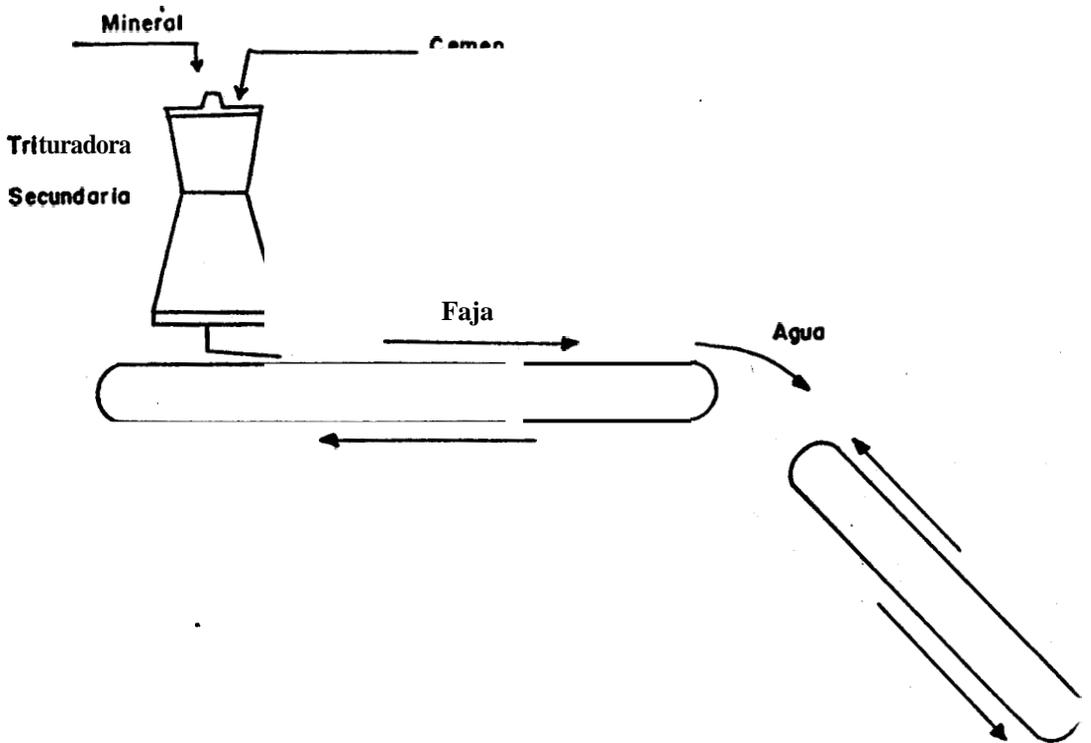


FIG. 4 ESQUEMA DE UN AGLOMERADOR DE FAJA

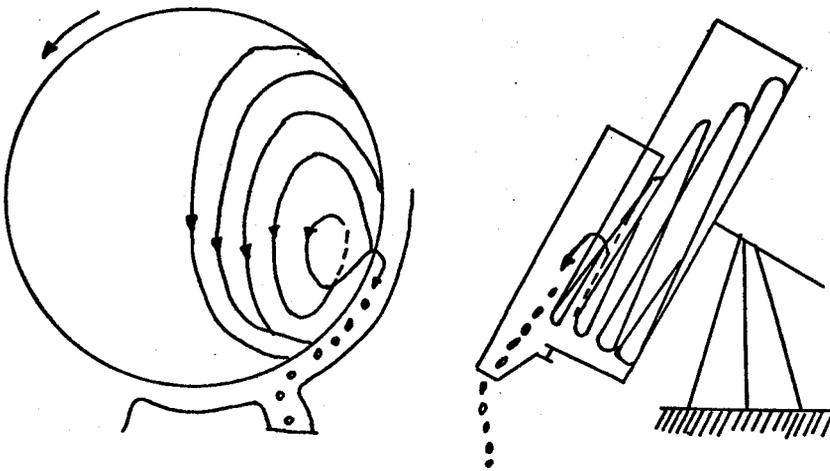


FIG. 5 CARACTER DEL MOVIMIENTO DE MATERIAL EN EL DISCO PELETIZADOR



BIBLIOTECA

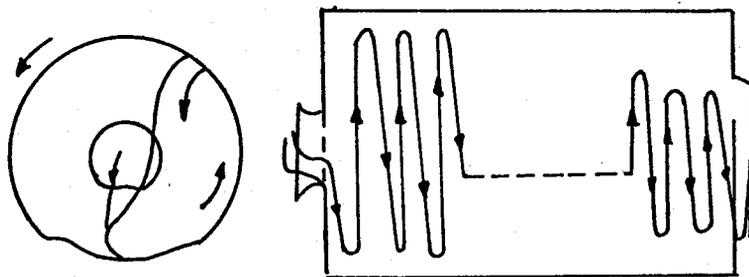


FIG. 6 CARACTER DEL MOVIMIENTO DE MATERIAL EN EL TAMBOR PELETIZADOR



BIBLIOTECA

CAPITULO II

LIXIVIACION EN PILAS PARA RECUPERACION DE ORO Y PLATA EN RECURSOS DE BAJO GRADO

EQUIPO Y MATERIAL DE LABORATORIO

Investigaciones para determinar la efectividad de los ligantes para la aglomeración de partículas finas fueron hechas sobre cargas de material de 2,694 Kilogramos, en lo que respecta a las colas de canalón y de 3,850 kilogramos en lo que se refiere al material concentrado, ambos materiales pertenecientes al sector denominado "La Independencia" ubicado en Santa Martha, cantón Ponce Enriquez, provincia del Azuay.

Un esquema del aparato utilizado en laboratorio (columna-filtrante) para simular los efectos de la pila de lixiviación es mostrado en la Fig. # 7. La columna de plástico (tubo FVC) fue de **50** centímetros de altura y tiene un diámetro interior de 10,6 centímetros.

Una malla de 70 mesh, que nos sirve como filtro, fue

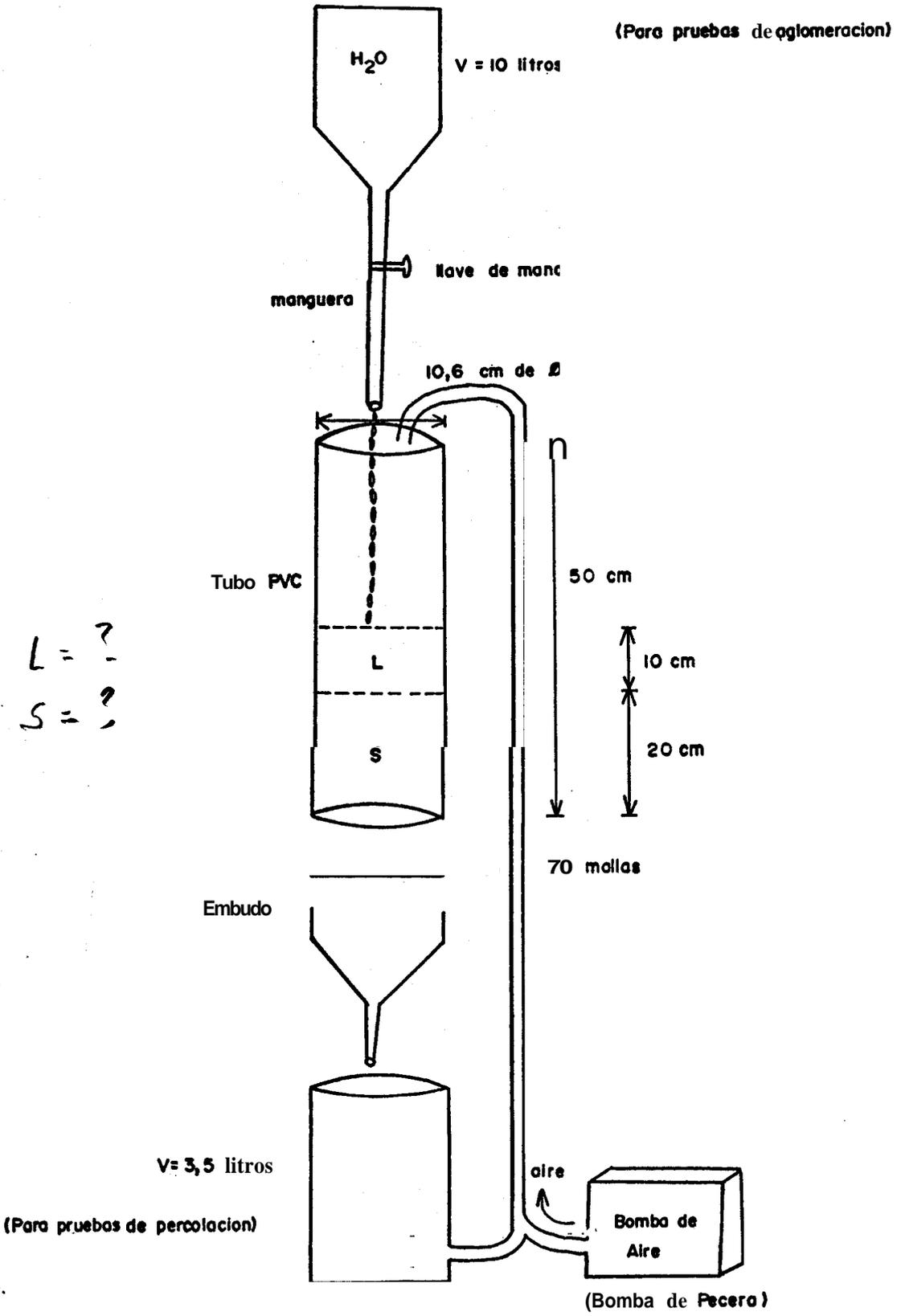


FIG. 7 COLUMNA FILTRANTE

colocada en la base de la columna.

La carga del material que fue colocada en la columna filtrante, dió como resultado una capa de altura de 20 centímetros aproximadamente, para el caso de las colas de canalón y una capa de **25** centímetros para el caso del material concentrado.

La vía de descarga, es el mismo diámetro interior del tubo PVC que se utiliza en la columna, para medir la tasa de flujo y tomar muestras de la solución. La solución de cianuro luego de percolar a través de la columna fue bombeada y reciclada.

El aglomerante (cemento Portland), y la mena seca (colas de canalón primeramente y material concentrado en una segunda prueba), y una cantidad controlada de agua fueron mezclados y depositados en el canalón peletizador. (Ver Fig. #8).

El material aglomerado fue fraguado previo a la filtración. Después del periodo de fraguado, usualmente **24** horas, el preparado fue colocado en la columna y la filtración empezó por bombeo de la solución en el tope de la columna.

Cálculos de los análisis de cabeza y recuperación de oro de cada ensayo fueron determinados por la cantidad de oro absorbido, la cantidad remanente en la

solución final preñada y los valores de oro remanente en el residuo de la filtración. Todas las muestras salidas fueron analizadas por los convencionales de ensayos al fuego.

Las muestras de solución fueron analizadas por absorción atómica espectrofotométrica.

2.2 INVESTIGACION DE AGLOMERANTES

El cemento Portland ha sido utilizado en las investigaciones de laboratorio que condujo al desarrollo del pretratamiento de aglomeración de partículas. La cal es otro aglomerante frecuentemente usado para proteger la alcalinidad en cianuración convencional y además reacciona con los silicatos contenidos en los constituyentes de arcilla de la mena luego del periodo de agregado y mezclado.

Según estudios se encontró que el aglomerado de partículas ha sido tan fuerte para resistir fuerzas normalmente encontradas durante la lixiviación en pilas, pero también fueron lo suficientemente porosas para permitir una adecuada penetración y flujo de la solución de cianuro percolante a través de la mena amontonada.

Como parte de una continua búsqueda eficiente para mejorar el pretratamiento de la aglomeración, otros

aglomerantes además de la cal han sido evaluados con o sin componentes alcalinos para proporcionar protección durante la cianuración.

Los aglomerantes investigados incluyeron: magnesio, dolomita, cloruro de calcio y cemento Portland tipo II. Este cemento es el más común usado para la industria de la construcción.

La dolomita calcinada y el cloruro de calcio no fueron efectivos ligantes. El aglomerado se descomponía cuando la solución filtrante de cianuro fue aplicada sobre la mena amontonada. Migraciones de finos y canalización ocurría y taponeaba la pila.

El magnesio fue adecuado ligante para la aglomeración de arcilla con bajo grado de oro y eliminó la migración de finos durante la filtración.

El aglomerado producido fue más grande que el deseado. Intentos para disminuir el tamaño del aglomerado no tuvieron éxito.

Adiciones de cemento Portland produjo una estabilidad excepcional de aglomerado poroso. Las propiedades del cemento han sido superiores a las exhibidas por otros aglomerantes. El aglomerado producido usando cemento como ligante endurecido, filtraba al utilizar recipientes e inundando para simular las pilas de lixiviación.

ción. No hubo migración de finos, ni hubo canalización que haya sido observada. Por lo tanto las investigaciones fueron concentradas sobre el cemento de Portland como aglomerante.

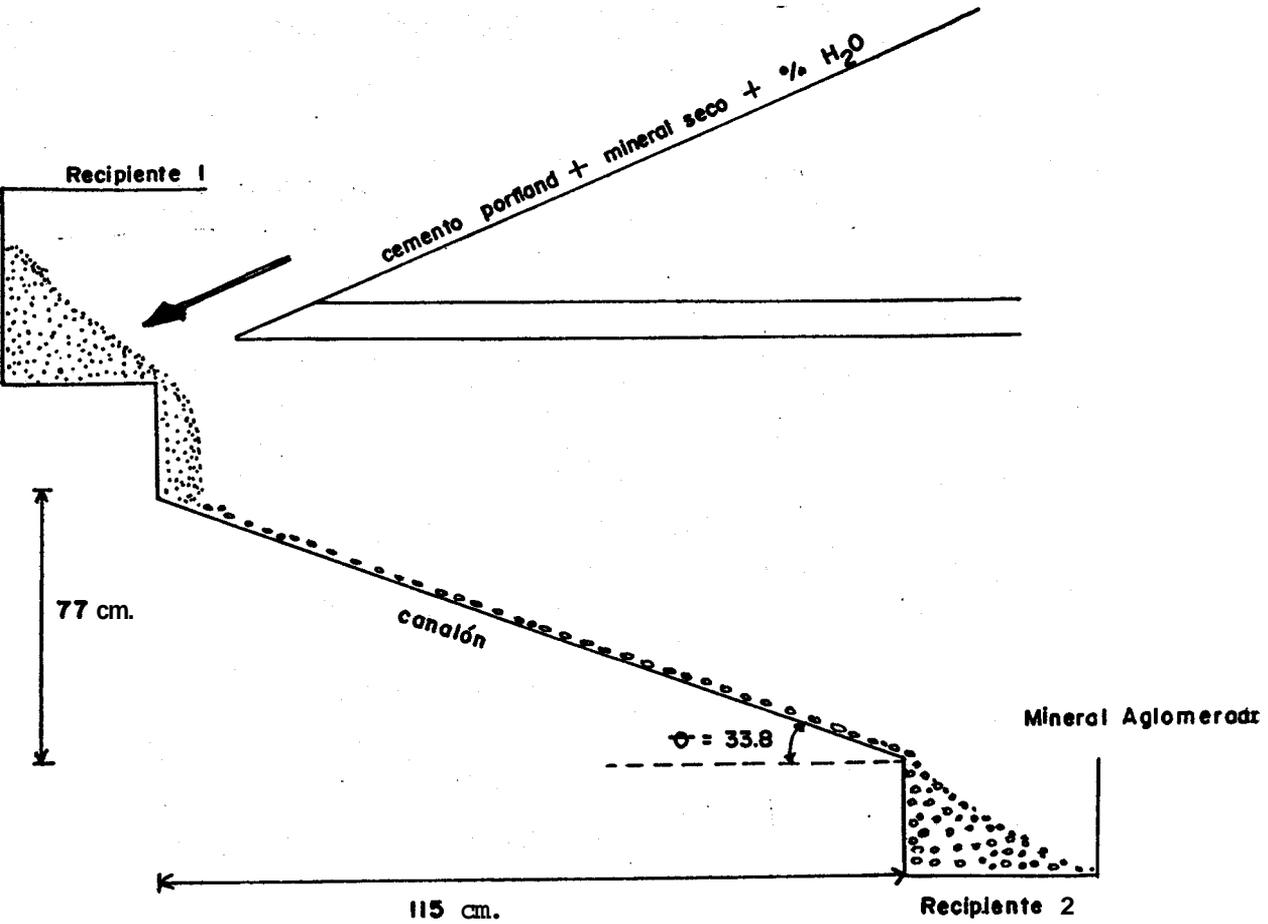


FIG. 8 CANALON PELETIZADOR



BIBLIOTECA

2.3 INVESTIGACION DE VARIABLES DE PROCESO SOBRE UNA PLANTA PILOTO

Las tres variables principales que afectan al proceso de aglomeración son:

- 1) La cantidad de aglomerante (cemento Portland) mezclado con el material seco.
- 2) La cantidad de humedad usada para mojar la mezcla seca.
- 3) El tiempo de fraguado requerido para la hidratación del silicato de calcio.

2.3.1 Efecto de la adición de cemento Portland \Rightarrow aglomeración sobre la tasa de flujo

El ensayo inicial de la columna en la pila de lixiviación ha sido conducido sobre la misma mena arcillosa de oro descrita anteriormente para obtener datos de la línea de base así poder comparar con datos obtenidos de preparados aglomerados.

La cantidad de cemento Portland varia de 0 a 40 Kilogramos por tonelada y fueron añadidas a **2,694** Kilogramos de carga de mena pasante 10 **mesh**, para el caso de las colas de canalón, y de 19 Kilogramos por tonelada que les fueron

agregados a 3,850 Kilogramos de carga de mena para la prueba de material concentrado.

El cemento Portland proporciona protección alcalina. Después mezclando el cemento con el preparado seco, la mezcla fue colocada en la columna de filtración y la percolación hacia abajo empezó con 3,5 litros de solución conteniendo 0,5 gramos de cianuro de sodio por litro de solución.

La solución filtrante fue reciclada a través del sistema hasta que no fue detectado oro en la solución preñada. Las medidas de la tasa de flujo fueron hechas diariamente por 4 días consecutivos y promediadas para determinar la tasa de flujo final.

Sin aglomeración la tasa de flujo de percolación se estabilizó en 0,057 metros cúbicos/hora-metro cuadrado.

2.3.2 Efecto de la adición de cemento Portland con aglomeración sobre la tasa de flujo

2,694 Kilogramos de carga de mena arcillosa que contiene oro y pasante 10 mesh de tamaño, fueron mezclados con 0,10,20 y **40** kilogramos de cemento

Portland por tonelada de mena para el caso de las colas de canalón y 3,850 kilogramos de material concentrado fueron mezclados con 18 kilogramos por tonelada de preparado de cemento Portland, escogió esta dosis debido a las características granulométricas de este concentrado el que se presenta más arenoso y con poco porcentaje de arcilla. (Ver Tabla I).

Luego, agua fue añadida a la mezcla menacemento hasta que el contenido de humedad de la mezcla sobre el canalón peletizador fluctuaba entre el 10 % - 20 %. La mezcla mojada fue echada sobre el canal peletizador hasta que los finos y el material arcilloso fue aglomerado. Una adecuada mezcla del cemento Portland y agua en la mena fue importante para una eficiente aglomeración del preparado.

Durante el paso de aglomeración, las partículas finas se adhieren a la superficie de las partículas grandes, así se evita la segregación de partículas.

Las partículas finas rodean las partículas gruesas que fueron lo suficientemente porosas, así, la solución de cianuro podría penetrar y disolver las partículas de oro asociadas con el material arenoso.

El aglomerado preparado fue colocado en la columna de filtración y dejado fraguar por 24 horas a una temperatura ambiente. La columna fue tapada para minimizar el secamiento de los pelets. Si los pelets, se secaban fuera durante el fraguado, la reacción de hidrólisis se detenía y una parcial destrucción de los aglomerados ocurría sobre el humedecimiento. Fuertes aglomerados son hechos si la mezcla menacemento queda húmeda durante el fraguado. Después del curado, la percolación filtrante hacia abajo del material aglomerado fue iniciada y descrita.

40 Kilogramos de cemento por tonelada de preparado para las colas de canalón y 18 kilogramos de cemento por tonelada de mena para el material concentrado, marca un mejoramiento en las tasas de



percolación a través de la columna con la mena .

Esta cantidad de cemento ha suministrado la protección de alcalinidad requerida durante la filtración bajo condiciones normales de la pila. No fue requerido adicionar alguna base para mantener la solución lixivante a un ph entre 9 y 11.

Medidas de la máxima tasa de flujo fueron hechas después de que la lixiviación del oro fue completada.

El material en la columna fue inundado con solución lixivante y la tasa a la que la solución drenaba de la columna fue medida.

La alta tasa de flujo percolante fue obtenida bajo condiciones de inundación que podrían ser impracticables en una actual lixiviación en pilas, porque requiere del bombeo de la solución, pero el dato demuestra que es muy estable, los aglomerados porosos son producidos y hacen que no se disgregen hacia abajo, bajo exageradas condiciones lixiviantes.



2.3.3 Efecto de la adición de agua sobre la tasa de flujo

Los experimentos, usando un periodo de fraguado de **24** horas, fueron ejecutados sobre 2,694 kilogramos de carga de mena arcillosa mezclada con **40** kilogramos de cemento Portland por tonelada de preparado, en el caso de las colas de canalón y en 3,850 kilogramos de mena mezclada con 18 kilogramos de cemento Portland por tonelada de preparado, en lo **que** respecta al material concentrado. La cantidad de agua añadida a la mezcla seca fue variada para llegar al final on contenido de humedad de la mezcla entre **el 5 % y 25 %**.

Las tasas de flujo de la solución a través de la columna de aglomerados son incrementados con el contenido de humedad consiguiendo un máximo de 1,16 metros cúbicos/hora-metro cuadrado, cuando se utilizaron 40 kg/Ton de cemento Portland. (Ver Tabla V).

Estos datos muestran que **la** permeabilidad del aglomerado preparado es dependiente

de la cantidad de agua empleada en la aglomeración. Si mucha agua es añadida, el preparado cemento-mezcla se vuelve una masa de lodo y así no forma aglomerados.

El mejor contenido de humedad para la aglomeración de la mena es de 12 %, sin embargo humedades entre 10 % y 20 % producen aglomerados aceptables.

CAPITULO III

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL CONCENTRADO Y LAS COLAS DE CANALON

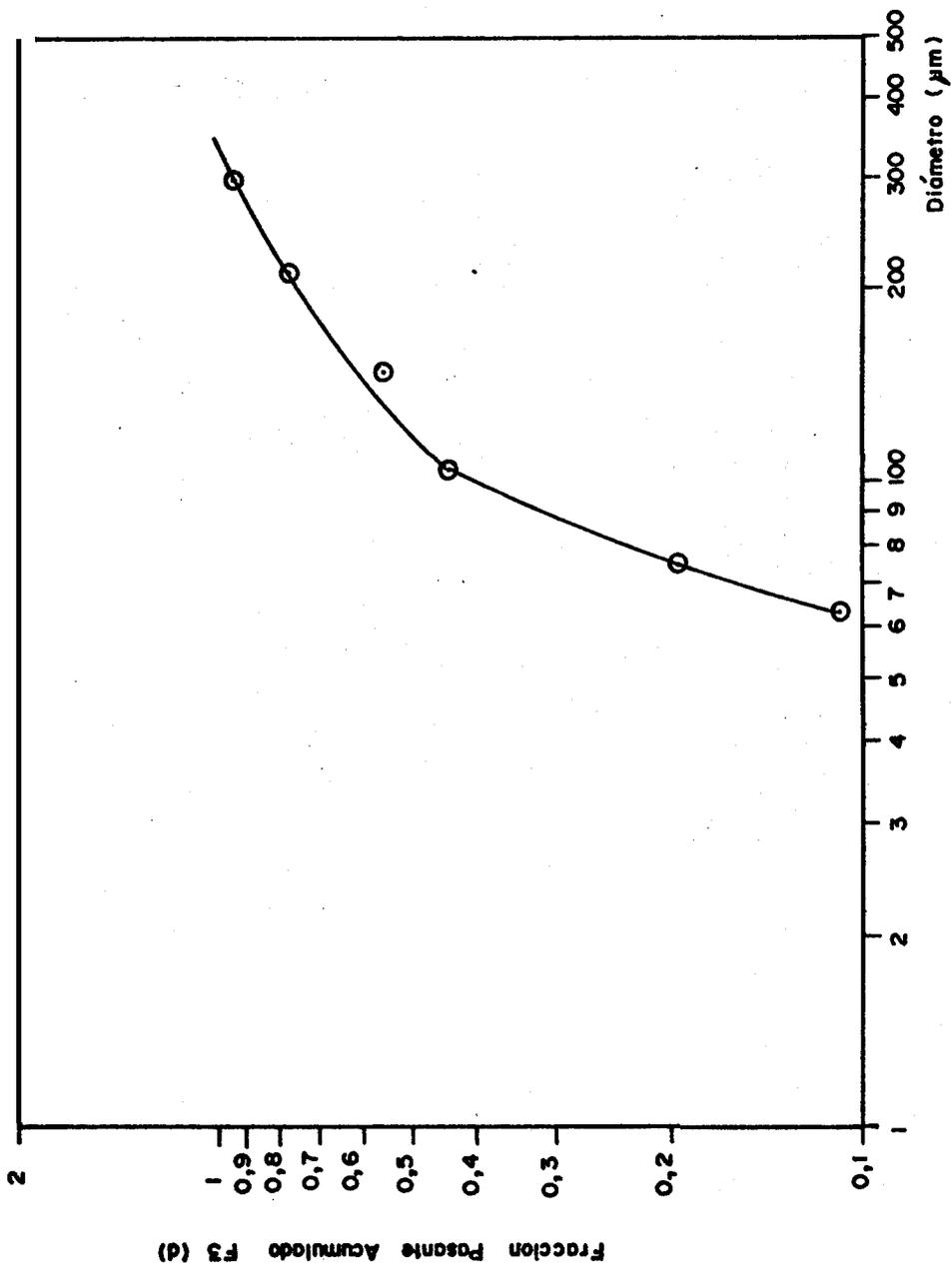
3.1 MATERIAL CONCENTRADO

TABLA I

DATOS DEL GRAFICO #1. CURVA GRANULOMETRICA PARA EL GRAFICO GAUDIN-SCHUMANN.

Tamiz (Mesh)	ϕ Tamiz (μm)	W_i	$\Delta W_i/W$	$F_3(d) = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta W_i}{W}$	%
40	+ 425	20,7550	0,0696	1.0000	100,0
50	300	46,8382	0,1575	0.9303	93,0
70	212	66,9360	0,2243	0.7728	77,2
100	150	31,3100	0,1050	0.5485	54,8
140	106	73,4034	0,2463	0.4435	44,3
200	75	26,2030	0,0879	0.1972	19,7
230	63	11,2930	0,0379	0.1093	10,9
Fondo	--	21,2952	0,0714	0.0714	0,7
		=====			
		298,0338			

CURVA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL CONCENTRADO



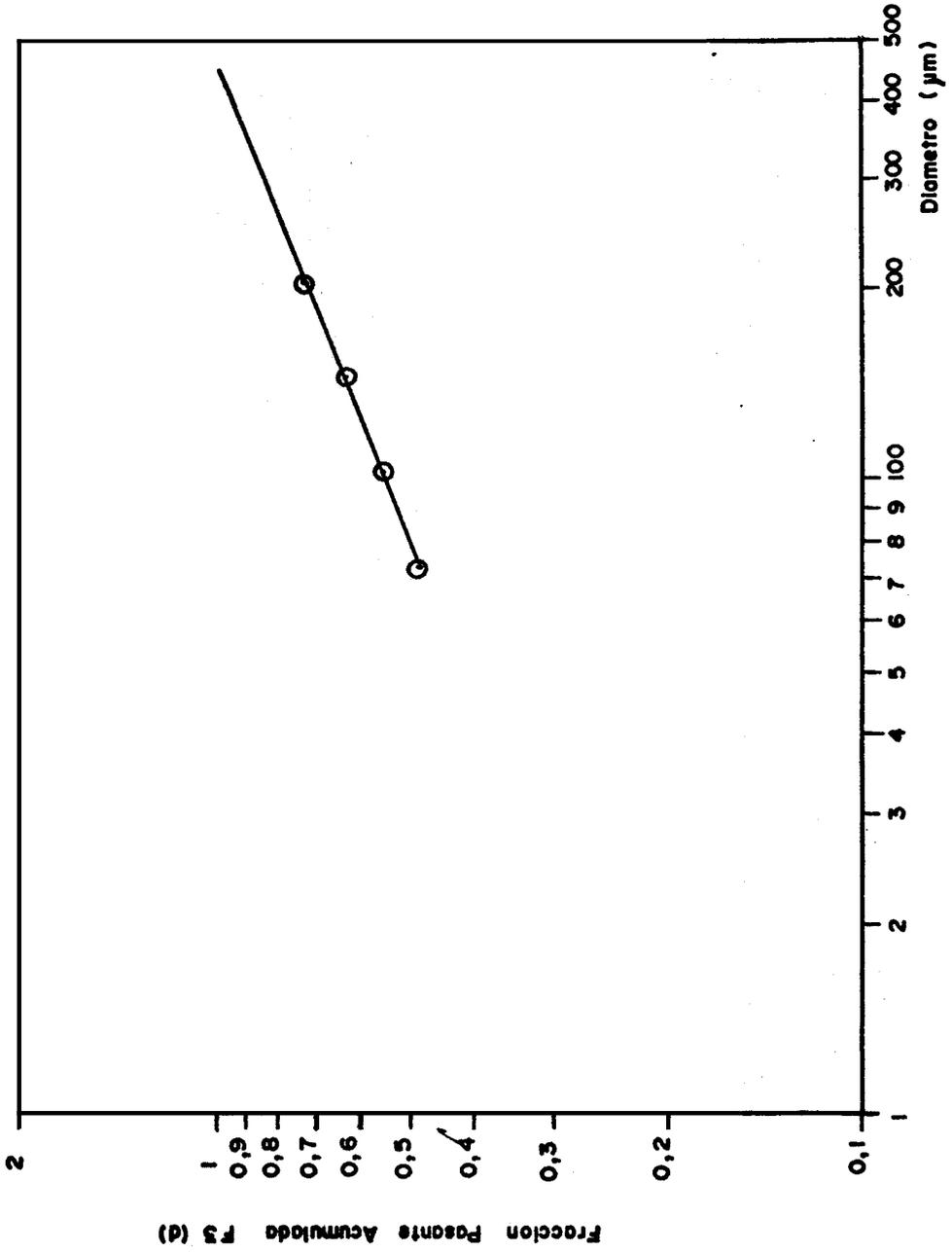
3.2 MATERIAL DE COLAS DE CANALON

TABLA 11

PATOS DEL GRAFICO # 2. CURVA GRANWLOMETRICA PARA E-
GRAF 100 GAUDIN-SCHUMANN.

Tamiz (Mesh)	ϕ Tamiz (μm)	W_i	$\Delta W_i/W$	$F_3 = \sum_{i=1}^3 \frac{\Delta W_i}{W}$	%
70	+ 212	50,6660	0,2533	1.0000	100,0
100	150-212	19,9537	0,0997	0.7467	74,7
140	106-150	17,4713	0,0874	0.6470	64,7
200	75-106	12,8781	0,0644	0.5596	55,9
FONDO	0-75	99,0363	0,4952	0.4952	49,5
		=====			
		200,0054			

CURVA GRANULOMETRICA DE LAS COLAS DE CANALON



BIBLIOTECA

CAPITULO IV

PRUEBAS DE AGLOMERACION REALIZADAS EN EL LABORATORIO

4.1 EQUIPOS Y MATERIALES DE AGLOMERACION

- 2 Recipientes plásticos
- **2.694** Kilogramos de material (colas de canalón)
- 3.550 Kilogramos de material (concentrado)
- 10 Kg/Ton, 20 Kg/Ton, **40** Kg/Ton de cemento Portland (colas de canalón)
- 18 Kg/Ton de cemento Portland (material concentrado)
- 1 Canalón
- Agua (500 ml)

4.2 PROCEDIMIENTO

- 1.- Se calcula el peso del material, para poder tener una columna de material de 20 centímetros de altura aproximadamente dentro del tubo PVC.
- 2.- Se pesa el material (en ambos casos: material concentrado y colas de canalón)
- 3.- Se calcula la cantidad **de** cemento Portland con la que se va a aglomerar el material.
- 4.- Se pesa el cemento Portland.



- 5.- En un recipiente plástico se mezcla el material y el cemento con 500 ml de agua aproximadamente.
- 6.- El material mezclado se lo deja deslizar por un canalón inclinado.
- 7.- Al otro extremo del canalón (extremo inferior), se recoge el material aglomerado en otro recipiente plástico.
- 8.- Este material se lo deja fraguar durante 24 horas como tiempo mínimo.



BIBLIOTECA

4.3 MATERIAL SIN AGLOMERAR

TABLA III

COLAS DE CANALON SIN AGLOMERAR

VOLUMEN (Ml)	TIEMPO (sg)	INTERVALO DE TIEMPO (sg)	CAUDAL Q. (m ³ /h-m ²)
0	0'00"		
300	33'43"	2023	0,061
600	1H7'20"	2017	0,061
750	1H24'30"	1030	0,061
900	1H42'45"	1095	0,057
0	0'00"	----	----
100	11'50"	710	0,057
200	25'30"	820	0,049

RESULTADOS

Q Promedio = 0,057 m³ /h-m² a lo largo de toda la percolación de los 10 lts de agua.

Q superior (llave de paso) = 0,053 m³ /h-m².



BIBLIOTECA

4.4 AGLOMERACION DE LAS COLAS DE CANALON CON 10 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

TABLA IV

COLAS DE CANALON CON 10 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

VOLUMEN (Ml)	TIEMPO (sg)	INTERVALO DE TIEMPO (sg)	CAUDAL Q. (m ³ /h-m ²)
0	0'00"		
300	1H40'20"	6002	0,020
600	3H18'10"	5888	0,020
900	5H21'30"	7400	0,016

RESULTADOS

Q Promedio = 0,018 m³/h- m² Se recuperaron aproximadamente 3 litros de agua.

4.5 AGLOMERACION DE LAS COLAS DE CANALON CON 20 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

RESULTADOS

No se obtuvo percolación alguna, se cree que el 11- quido al hacer contacto con los aglomerados, los deshizo y provocó que se forme lodo y no se produzca la percolación.

4.6 AGLOMERACION DE LAS COLAS DE CANALON CON 40 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

TABLA V

COLAS DE CANALON CON 40 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

VOLUMEN (M ³)	TIEMPO (seg)	INTERVALO DE TIEMPO (seg)	CAUDAL Q. (m ³ /h-m)
0	0'00"		
1000	6'14"	374	1.09
1500	8'15"	121	1.
2500	13'20"	325	1.34
3000	16'15"	175	1.17
4000	22'05"	350	1.17
4500	24'55"	170	1.13
5500	31'25"	390	1.04
6000	34'40"	195	1.04
7000	40'42"	362	1.13
7500	43'50"	188	1.09
8500	50'00"	370	1.10
9000	53'50"	230	0.88
9400	1H3'35"		

Q Promedio = 1,16 m /h-m .

Q Superior = 1,13 m /h-m .

4.7 CONCLUSIONES PARCIALES DE AGLOMERACION

MATERIAL SIN AGLOMERAR.--

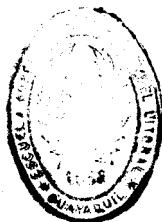
La percolación se inició cuando la columna de agua era **do 19 cms.** y **no** de 10 cms. como **se** esperaba, la presión de la columna de agua ayudó para que se iniciara la percolación una hora después de que cayera la primera gota de agua sobre el material que se encontraba dentro del tubo PVC de plástico.

El primer litro de agua percolada a través del material tuvo una coloración café oscura, a medida que avanzaba la percolación **se** tornaba **más** transparente.

El caudal promedio fue de $0,057 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ a través de toda la percolación y ésta duró entre 20 y 22 horas para que percolara los 10 litros que **había** en el recipiente inicialmente.

Terminada la percolación **se** comprobó que se habían recuperado 9,580 litros, deduciendo de esta forma que los **420** mls **se** habían quedado formando una pulpa con el material.

Posteriormente se halló el % de humedad que había en la pulpa, anteriormente mencionada, y se comprobó que había el 31 % de humedad, aproximadamente (Ver ANEXO A).



AGLOMERACION DE MENA DE COLAS DE CANALON CON
10 Kg/Ton **DE** CEMENTO PORTLAND

Con una columna de 10 cms de agua y aproximadamente 2 minutos despues de que cayera la primera gota sobre el material aglomerado, se iniciad la percolacidn. Las primeras gotas salen con material fino (lodoso) y mientras transcurre la percolacidn, el agua toma un coloracidn verdosa. Se recuperaron aproximadamente 3,250 litros, una vez que **se** comprobó que el caudal de percolacidn era muy bajo y tenía un promedio de 0,18 m /h-m . **Se** concluyó que si al inicio de la percolacidn las primeras gotas percoladas salieron a los dos minutos y luego bajó el caudal, los aglomerados no tenían la suficiente compactacidn con el cemento Portland **y** se deshicieron cuando el agua penetrd en ellos.

AGLOMERACION DE MENA **DE** COLAS DE CANALON CON
20 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

Se recuperaron apenas 200 ml en 5 1/2 horas de percolacidn y luego se estancó, la causa principal puede **ser** la muy poca compactacidn de los aglomerados al igual que el caso anterior.



AGLOMERACION DE MENA DE COLAS DE CANALON CON
40 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND

Se obtuvo una buena percolación que duró aproximadamente ~~1h3'35"~~ la recuperación de 9,400 litros, debido a que 600 ml se mezcló con el material, dentro del tubo, para formar una pulpa. El caudal promedio sería entonces de $1,16 \text{ m}^3/\text{h-m}^2$.

La coloración del primer litro era café claro y poco a poco se hacía más transparente.

La columna de agua siempre se mantuvo hasta el final, es decir, en 10 cms de altura.

Sin duda alguna, los aglomerados se encontraban bien compactados.



BIBLIOTECA

CAPITULO V

PRUEBAS DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO Y LAS COLAS DE CANALON REALIZADAS EN EL LABORATORIO

5.1 EQUIPOS Y MATERIALES DE PERCOLACION

- 1 recipiente plástico para almacenar 3.5 litros de solucidn.
- 1 tuberia de diámetro pequeño ($\phi = 4$ mm) para reciclar la solucidn.
- 1 bomba de agua de baja potencia que sirva para reciclar la solucidn (bomba de pecera).
- 1 tubo PVC de 50 centímetros de altura y 10.6 centímetros de diámetro.
- 1 malla de 70 mesh.
- 1 abrazadera.
- 2 embudos.
- 1 metraz de 1000 ml.
- 1 matraz de 500 ml.
- agua.
- cianuro.
- cal.
- material aglomerado.



BIBLIOTECA

5.2 PROCEDIMIENTO

- 1.- Se llena el tubo PVC con el material aglomerado (una vez fraguado) y debe quedar a una altura entre 20 y 25 centímetros, aproximadamente.
- 2.- Se llena el recipiente de plástico con 3.5 litros de solución de cianuro.
- 3.- Se enciende la bomba de baja potencia (bomba de pecera) **para** que empiece a recircular la solución de cianuro a través del material aglomerado que se encuentra en la tubería PVC.
- 4.- En horarios pre-establecidos se procede a tomar muestras de la solución para proceder a titular y determinar qué cantidad de cianuro y cal (para mantener el ph elevado) **le hace falta a la solución** para obtener una buena disolución de oro.
(Ver **Anexos O y E**).

5.3 CIANURACION

- 1.- Una vez lista la muestra dentro del tubo PVC y la solución dentro del recipiente plástico, se calcula la cantidad de cianuro y cal que **se** necesita agregar para obtener las concentraciones requeridas para cada prueba, así como un **ph** inicial alto, superior a 10.
- 2.- Se realiza una cianuración por percolación de

aproximadamente 96 horas para el material concentrado y de 57 horas para el material de colas de canalón, determinando la concentración de cianuro y cal y controlando que se cumplan las condiciones fijadas, cada cierto tiempo (agregando o no, cal y cianuro), al principio a intervalos cortos pero después a intervalos más largos.

3.- Al finalizar la prueba, se realiza un análisis por CHIDDEY.

5.3.1 Determinación de la concentración de cianuro

1.- Del recipiente plástico se extrae un poco de solución, aproximadamente unos 50 ml.

2.- Se colocan 5 ml y 5 ml en dos recipientes diferentes. Uno se utiliza para titular CN^- y el otro para titular cal.

3.- A uno de los recipientes se le agrega unas 3 gotas de yoduro de potasio y se le echa poco a poco una solución de nitrato de plata de una concentración de $1.5306 \times 10^{-2} M$ por medio de una bureta (para el caso del material concentrado) y la misma concentración se utiliza para el caso de las colas de canalón), hasta que cambie el color el indicador. Se mide el nitrato de plata utilizado y se calcula la concentración de cianuro libre.

- 4.- Si la concentracido calculada **es** menor a la requerida **se** calcula la cantidad a añadirle y se le agrega.

5.3.2 Determinación de la concentración de cal

- 1.- **Se** siguen los dos primeros pasos del procedimiento anterior.
- 2.- Al recipiente de 5 ml restantes, se le agrega unas gotas de fenolftaleína y se le agrega cantidades controladas de ácido oxálico con una concentracido de $8.928574 * 10^{-3}$ M para el caso del material concentrado y de $2.67857 * 10^{-3}$ M para el caso de las colas de canalón, por medio de una bureta hasta que el color del indicador cambie.
- 3.- Si la concentracido **es** menor que la requerida se calcula la cantidad de cal a añadir, tomando en cuenta la pureza de la cal.



BIBLIOTECA

5.4 PRUEBA DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO



BIBLIOTECA

5.4.1 TABLA DE LECTURAS DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO

TABLA VI

LECTURAS DE PERCOLACION PARA EL MATERIAL CONCENTRADO

[AcOx] = 8.9285714×10^{-4} M [CaO] = 0.3 gr/lt
 [AgNO₃] = 1.5306×10^{-4} M [CN] = 0.5 gr/lt
 pho = 6.50 vo = 3.5 lt

TIEMP PERC.	PH	LECT. AcOx (ml)	CONC. CAL gr/lt	ADIC. CAL gr	LECT. NIT. ml	CONC. CN gr/lt	ADIC. CN gr	VOL. (lt) lt	ABS. at.
00:00				6.000				3.500	
00:30	8.50			3.000			1.750	3.500	
04:00	13.0	2.0	0.200	0.709	8.60	0.258	0.844	3.490	
07:00	12.0	2.2	0.220	0.564	8.00	0.240	0.902	3.470	
10:00	12.0	2.5	0.250	0.349	8.30	0.249	0.862	3.434	(1,0)
13:00	12.0	2.4	0.240	0.419	8.50	0.255	0.839	3.424	
21:00	11.5	1.8	0.180	0.833	7.50	0.225	0.939	3.414	
25:00	11.5	2.3	0.230	0.483	11.2	0.336	0.557	3.394	
29:00	11.5	2.6	0.260	0.274	15.3	0.459	0.138	3.374	
33:00	11.3	2.3	0.230	0.471	12.1	0.375	0.420	3.359	
37:00	11.5	2.4	0.240	0.408	13.0	0.390	0.368	3.348	(1,1)
44:00	11.5	1.9	0.190	0.745	10.0	0.300	0.666	3.333	
49:00	11.5	2.8	0.280	0.135	14.0	0.480	0.066	3.323	
54:00	11.5	2.5	0.250	0.337	13.8	0.414	0.285	3.313	
59:00	11.5	2.1	0.210	0.604	14.0	0.420	0.264	3.302	(1,2)
68:00	11.5	2.0	0.200	0.669	11.7	0.351	0.490	3.292	
74:00	11.5	2.4	0.240	0.400	15.3	0.459	0.135	3.282	
80:00	11.5	2.4	0.240	0.398	15.4	0.462	0.124	3.272	
85:00	11.5	2.2	0.220	0.530	15.0	0.450	0.163	3.261	(1,3)
96:00	11.5	2.4	0.240		10.5	0.315		3.255	(1,4)



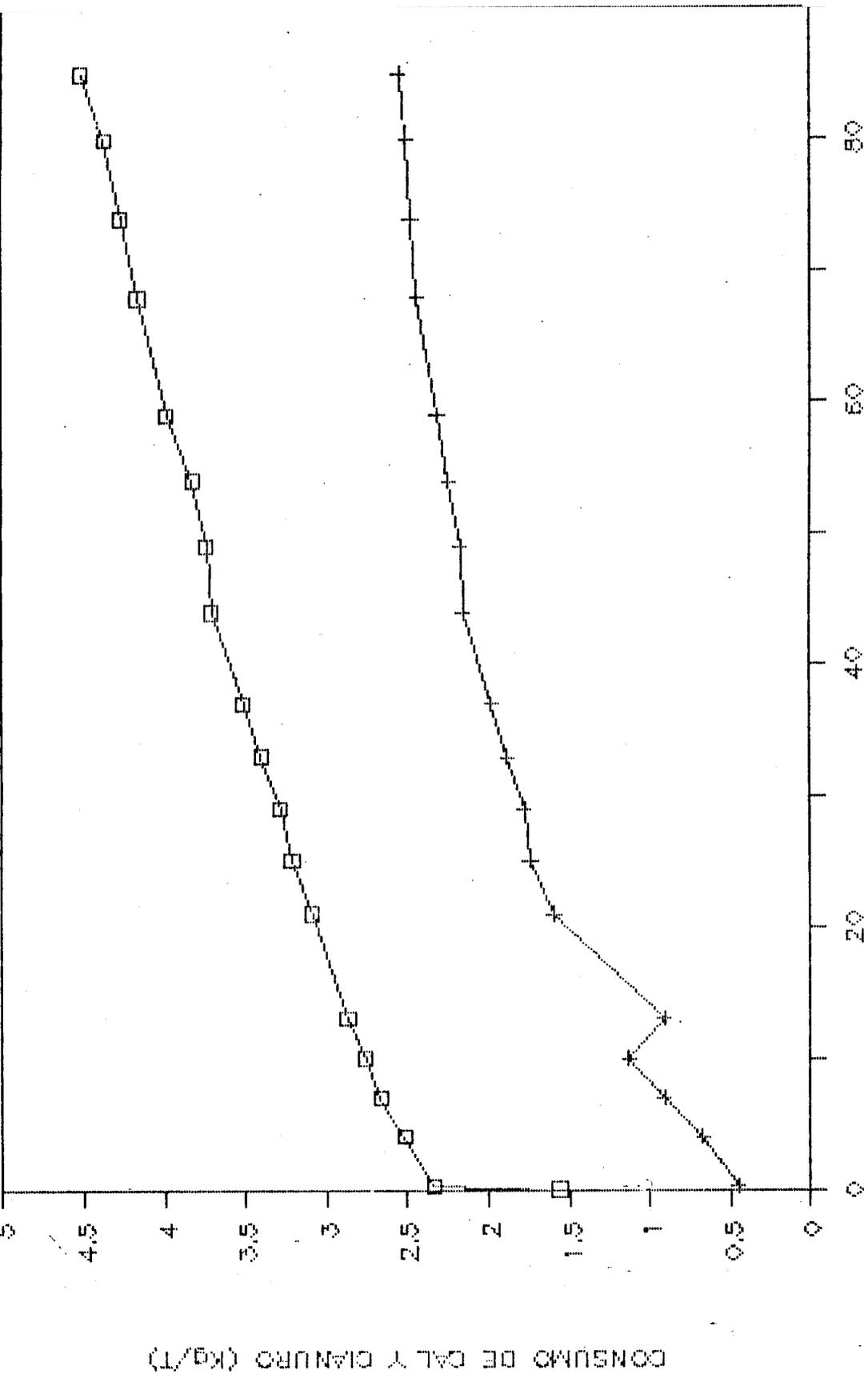
BIBLIOTECA

5.4.2 TABLA DEL GRAFICO # 3

TABLA VI1

CONSUMO DE CAL Y CIANURO EN LA PRUEBA DE PERCOLACION
PARA EL MATERIAL CONCENTRADO

TIEMPO DE PERCOLACION	CONS. CAL (Kg/Ton)	CONS. CN (Kg/Ton)
00:00	1.558	
00:30	2.338	0.455
04:00	2.522	0.674
07:00	2.668	0.908
10:00	2.759	1.132
13:00	2.868	0.908
21:00	3.084	1.584
25:00	3.210	1.738
29:00	3.281	1.774
33:00	3.405	1.883
37:00	3.511	1.979
44:00	3.704	2.152
49:00	3.739	2.169
54:00	3.827	2.243
59:00	3.984	2.312
68:00	4.158	2.439
74:00	4.262	2.474
80:00	4.365	2.506
85:00	4.503	2.549
96:00		



TIEMPO DE PERCOLACION (HORAS)
+ CEMENTO
□ CAL



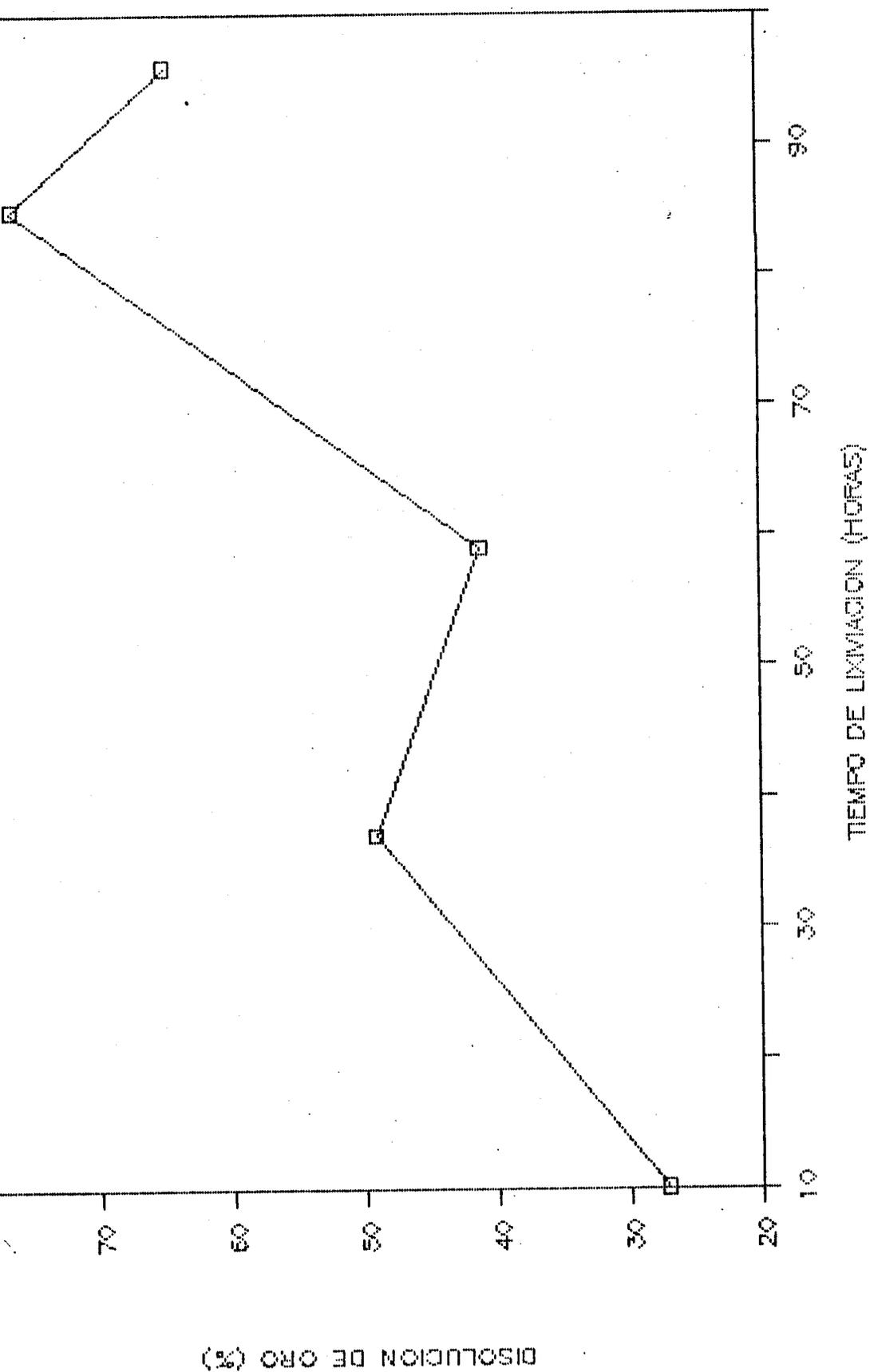
BIBLIOTECA

5.4.4 TABLA DEL GRAFITO # 4

TABLA VIII

PORCENTAJE DE DISOLUCION DE ORO VS.
TIEMPO DE LIXIVIACION PARA EL MATE-
RIAL CONCENTRADO DE SANTA MARTHA
DESPUES DE AGLOMERAR CON 18 Kg/Ton
DE CEMENTO PORTLAND Y 24 HORAS DE
FRAGUADO

P.P.m.	% RECUPERACION	T (h)
17,7	27.22	10
16,4	49.18	37
9,3	41.26	59
13,1	76.52	85
8,9	64.87	96



5.5 PRUEBA DE PERCOLACION PARA LAS COLAS DE CANALON



- 3

BIBLIOTECA

5.5.2 TABLA DEL GRAFICO # 5

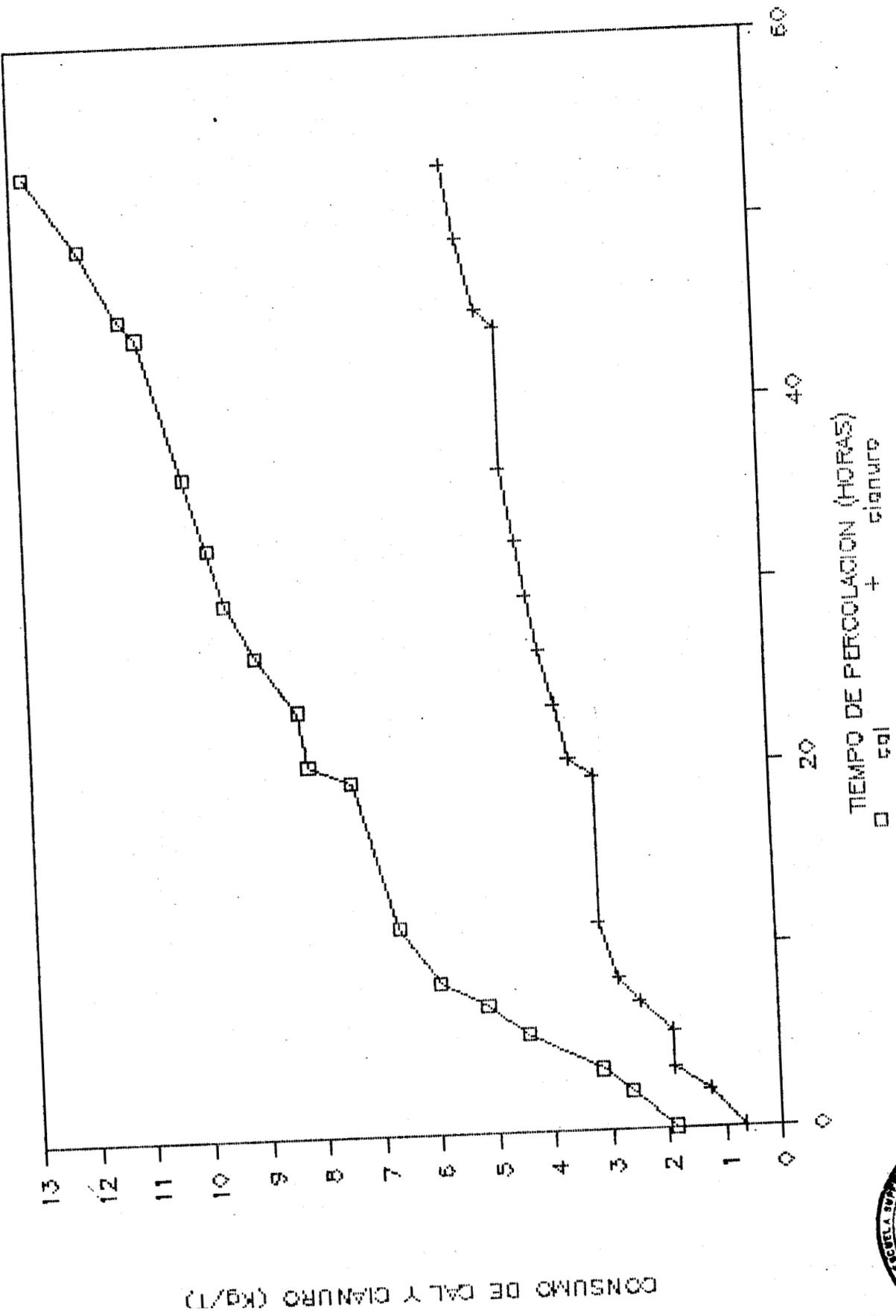
TABLA X

CONSUMO DE CAL Y CIANURO EN LA PRUEBA DE PERCOLACION
PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON

TIEMPO DE PERCOLACION	CONS. CAL (Kg/Ton)	CONS. CN (Kg/Ton)
00:00	1.856	0.65
02:00	2.622	1.274
03:30	3.133	1.88
05:30	4.432	1.88
07:00	5.123	2.446
08:30	5.942	3.815
11:30	6.635	3.129
19:30	7.377	3.129
20:30	8.138	3.541
23:30	8.296	3.773
26:30	8.988	4.005
29:30	9.503	4.202
32:30	9.78	4.347
36:30	10.156	4.572
44:00	10.898	4.572
45:00	11.174	4.901
49:00	11.855	5.184
53:00	12.779	5.429
57:00		



BIBLIOTECA



5.5.4 TABLA DEL GRAFICO # 6

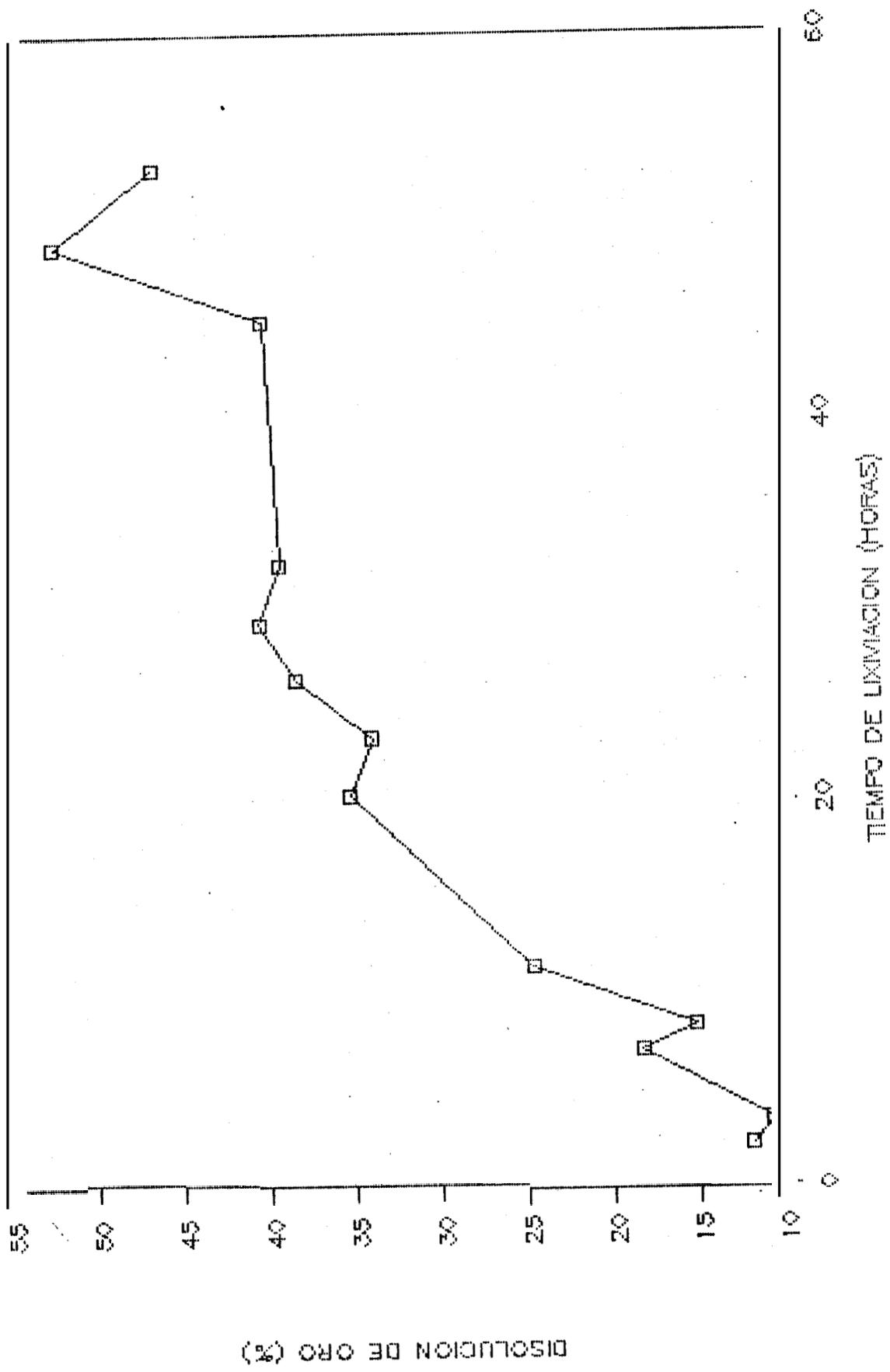
TABLA X I

PORCENTAJE DE OISOLUCION DE ORO VS. TIEMPO DE LIXIVIACION PARA EL MATERIAL DE COLAS DE CANALON DE SANTA MARTHA DESPUES DE AGLOMERAR CON 40 Kg/Ton DE CEMENTO PORTLAND Y 34 HORAS DE FRAGUADO

P.P.m.	% RECUPERACION	T (h)
3,1	12.06	2:00
1,4	10.81	3:30
1,6	18.42	7:00
1,0	15.28	8:30
1,3	24.74	11:30
1,55	35.29	20:30
1,5	33.94	23:30
1,7	38.34	26:30
1,8	40.46	29:30
1,75	39.21	32:30
1,8	40.08	45:00
2,35	52.15	49:00
2,1	46.38	53:00



BIBLIOTECA



5.6 METODO CHIDDEY

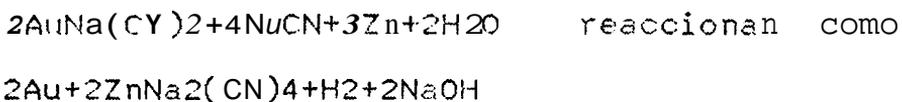
El principio de este método es el desplazamiento electroquímico del oro por el zinc. Se agrega acetato de plomo para acelerar la reacción.

El zinc desplaza 1 plomo del electrolito, y el plomo metálico se une con el resto del zinc para formar una aleación de plomo-zinc la cual cubre al metal de zinc. La reducción de cianuro de oro se realiza por la presencia de plomo en la solución. La tasa de disolución anódica también es incrementada por la presencia de plomo.

Se distinguen dos etapas:

- En la primera un equivalente de Zinc reduce dos equivalentes de oro.
- En la segunda etapa, un equivalente de zinc produce un equivalente de cianuro sódico de zinc.

La reacción total es:



Existe un desprendimiento de hidrógeno y aumento de la alcalinidad en la solución. El zinc se disuelve por el cianuro sódico áurico y por el cianuro libre, exponiendo las superficies del metal para la precipi-

tación del oro.

5.6.1 PROCEDIMIENTO

- 1.- Luego de finalizada la cianuración por percolación, se recoge un litro de solución.
- 2.- Se vierte la solución en un Vicker de 1 litro.
- 3.- Se pone a calentar el Vicker en un reverbero.
- 4.- Luego de 5 minutos se colocan 20 ml de acetato de plomo al 10 %.
- 5.- Posteriormente se coloca 1 gramo de polvo de zinc. (1 gr/lt).
- 6.- Se lo deja calentar durante 5 minutos.
- 7.- Mezclar y agitar hasta la ebullición.
- 8.- Añadir despacio 30 ml de HCL diluido en proporción 2:1 (al 50 %).
- 9.- Continúe calentando durante aproximadamente media hora hasta que cese el burbujeo lo que indica que el zinc se ha disuelto.
- 10.-Decantar la solución con cuidado con el objeto de no perder ninguna partícula de plomo.
- 11.-Filtrar la solución.
- 12.-Poner a secar el papel filtro que contiene la muestra y luego quemarlo.



13.-Preparar la carga fundente.

- cenizas (muestra secada y quemada)
- 15 gramos de sílice.
- 15 gramos de Na_2CO_3 .
- 30 gramos de litargirio.
- 10 gramos de bdrax.
- 3 gramos de harina.

14.-Se coloca esta carga en un crisol.

15.-Se introduce el crisol en la mufla, y se lo deja durante 30 minutos.

16.-Una vez fundida la carga se vierte sobre la lingotera y se deja enfriar.

17.-Se forma un botdn de plomo el cual se lo pesa.

18.-Luego se introduce el botdn de plomo en una copela previamente calentada.

19.-Se lo deja durante 30 minutos hasta que se forme el dord.

20.-Se pesa el doré.



BIBLIOTECA

5.6.2 TABLA DE RESULTADOS PARA EL MATERIAL CONCENTRADO Y LAS COLAS DE CANALON RECUPERADOS DE LA SOLUCION CON E 4 METODO DE CHIDDEY

MATERIAL CONCENTRADO

Vt (lt)	Wo (Kg)	Vo (lt)	To (g/T)	W (doré) g	TENOR ORO (g/T)	% RECUPERACION
3,5	3,85	1,0	58,0	0,0357	32,45	55,95

MATERIAL COLAS DE CANALON

Vt (lt)	Wo (Kg)	Vo (lt)	To (g/T)	W (doré) g	TENOR ORO (g/T)	% RECUPERACION
3,5	2,69	1,0		0,0101	13,12	39,40



BIBLIOTECA

5.7 ANALISIS ESPECTRAL POR ABSORCION ATOMICA

Consiste en la absorción de la radiación electromagnética característica emitida por un cátodo hueco al atravesar un vapor atómico en estado fundamental según las leyes de Plank y de Lambert Beer. Ocurre absorción cuando los átomos del vapor atómico contenidos en una flama (aire-acetileno comúnmente utilizado para el oro y plata) son los mismos que producen la emisión en el cátodo hueco.

La absorción de la radiación (absorbancia) es proporcional a la concentración de átomos (metales) de la solución que es aspirada; esto permite su uso en el análisis cuantitativo de metales.

El fenómeno de absorción fue observado por primera vez en 1812 por Wollaston al detectar líneas negras en el espectro solar; siendo Fraunhofer quien las clasificó en 1814.

La interpretación del fenómeno, desarrollo de dispersores cátodos huecos, detectores; recién permitieron en 1953 a Walsh demostrar la importancia de la absorción atómica; apareciendo el primer instrumento comercial cerca de 1960.

El equipo en que se produce y mide la absorción se denomina ESPECTROMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA que básicamente contiene: Cdtodos huecos, sistema de gases, soporte y combustible (aire-C₂H₂, N₂O-C₂H₂, aire-H₂, etc), monocromador para aislar las longitudes de onda características y el detector que puede ser un galvanómetro, registrador o digital.

El método permite analizar cuantitativamente entre 60 a 70 metales en soluciones acuosas, orgánicas, etc.





BIBLIOTECA

CONCLUSIONES

- El proceso de aglomeración y fraguado se justifica debido a la presencia **de** finos, los cuales podrían provocar una migración de éstos, baja razón de percolación y contaminación por sólidos en suspensión de las soluciones enriquecidas.
- El aglomerado es fundamental para una buena recuperación en el proceso **de** lixiviación.
- En el mercado se encuentran todos los materiales e insumos necesarios para la implementación y operación de la planta.
- El costo de implementación y operación es pequeño comparado con otras faenas del mismo propósito.
- La presencia de contaminantes es mínima, **ya** que la estructura permeable de la pila permite un eficiente lavado y neutralización; asimismo, el aglomerado estable minimiza los problemas de polvo en toda la operación y en los residuos.

El aumento **de** los precios **de** oro y plata, es un simple pero efectivo testimonio de la necesidad de incrementar

la produccidn domestica de estos productos.

La disolución de minerales por percolación ofrece las posibilidades de incrementar la produccidn doméstica para oro de baja ley y desechos de minas, para los cuales otros medios de produccidn no serán posibles.

Todo tiende a señalar que las operaciones de disolución de minerales por percolación están en medio de un excitante y pujante crecimiento que producirá un incremento en la recuperación de oro y plata en nuestro país.

Algunos de los problemas que tienden a obstaculizar la-operaciones de la disolucidn de minerales y los esfuerzos de investigación que buscan vencer estas dificultades han sido identificados.

En el tratamiento de aglomeración y percolación efectuado en el laboratorio, para los materiales concentrado y colas de canalón del sitio denominado "La Independencia", 'sector de Santa Martha, en el cantón Ponce Enriquez, Provincia del Azuay, se pudo comprobar, mediante los resultados arrojados que el mayor porcentaje de recuperación existe en el material concentrado, 56 % mientras que en las colas de canalón se recupera un 39 % de mineral valioso específicamente tomando en cuenta el método de Chiddey.



Mientras que en la prueba de absorción atómica, la máxima recuperación fue de 76,5 % para el material concentrado y el 52 % para el material de colas de canalón.



BIBLIOGRAFIA

- 1.- DE LA CADENA CORALIA. Recuperación de oro de las arenas de la mina San José. Método de cianuración por agitación.
- 2.- INEMIN. Operación de lixiviación en cancha para recuperación de oro y plata.
- 3.- MC CLELLAND G. E. and EISELE J. A. Improvements in heap leaching to recover silver and gold from low grades resources.
- 4.- QUXROZ NUÑEZ IVAN. Folleto de aglomeración de minerales de oro y plata.
- 5.- ROORIGUEZ QUIROZ CARLOS. Método de lixiviación en pila-absorción por carbón activado para la recuperación de minerales auríferos.

ANEXO A

DATOS DEL MATERIAL SIN AGLOMERAR

* Cuando se inició la percolación la columna de agua era de 19 cms.

$$V_{l0} = \frac{\pi * D^2}{4} * h$$

$$V_{l0} = \frac{\pi (10,6)^2}{4} (19)$$

$$V_{l0} = 1676,70 \text{ cm}^3$$

VOLUMEN DEL LIQUIDO CONSTANTE (COLUMNA DE 10 cms.).

$$V_l = \frac{\pi * D^2}{4} * h$$

$$V_l = \frac{\pi (10,6)^2}{4} (10)$$

$$V_l = 882,47 \text{ cm}^3$$

PESO DEL SOLIDO : $W_s = 2,694 \text{ Kg.}$

$$\text{VOLUMEN DEL SOLIDO: } V_s = \frac{\pi * D^2}{4} (20)$$

$$V_s = 1764,95 \text{ cm}^3$$



BIBLIOTECA

PORCENTAJE DE HUMEDAD:

$T^{\circ} = (\text{horno}) = 200^{\circ}\text{C}$ Tiempo = 24 horas

A.- Peso del recipiente = 45,9815 gr.

B.- Peso húmedo + recipiente = 127,7928

C.- Peso seco + recipiente = 108,3944

$$\% \text{ humedad} = \frac{B - C}{C - A} * 100 = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} * 100$$

$$\% \text{ humedad} = \frac{127,7928 - 108,3944}{108,3944 - 45,98150} * 100 = 31,08 \%$$

ANEXO B

CALCULOS PARA LA ADICION DE CEMENTO PORTLAND AL MATERIAL

A.- 10 Kg/Ton (10 Kg de cemento por cada tonelada de arena).

10 Kg = 10 gramos
(cemento)

10 Kg = 1 Ton
(material)

x

2,694 Kg
(material)

$$x = \frac{(2,694 \text{ Kg}) (10 \text{ gramos})}{10 \text{ Kg}}$$

$$x = 26,94 \text{ gramos de cemento Portland}$$

B.- 20 Kg/Ton

20 x 10 gramos

10 Kg

x

2,694 Kg

$$x = \frac{(2,694 \text{ Kg}) (20 \times 10 \text{ gramos})}{10 \text{ Kg}}$$

$$x = 53,88 \text{ gramos de cemento Portland}$$

C.- 40 Kg/Ton

40 x 10 gramos

10 Kg

x

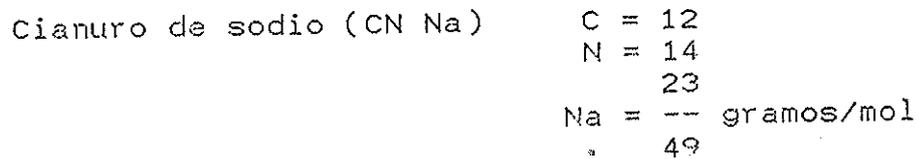
2,694 Kg

$$x = \frac{(2,964 \text{ Kg}) (40 \times 10^3 \text{ gramos})}{10^3 \text{ Kg}} = 107,76 \text{ gramos de cemento Portland.}$$

ANEXO C

PREPARACION DE SOLUCIONES PARA LA TITULACION

Nitrato de plata y ácido oxálico para titular el cianuro y la cal respectivamente.

Nitrato de plata

Concentración de cianuro: $[\text{CN}] = 0.05\% = 0.5 \text{ gramo/litro}$

$$\frac{0,5 \text{ gramo/lt}}{49 \text{ gramo/mol}} = 1,02040 \times 10^{-2} \text{ M}$$

Ecuación:

$$2 V_{\text{AgNO}_3} [\text{AgNO}_3] = V_{\text{CN}^-} [\text{CN}^-]$$

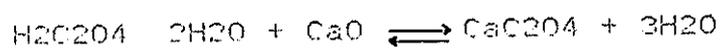
$$2 (5 \text{ ml}) [\text{AgNO}_3] = (5 \text{ ml}) (1,02040 \times 10^{-2} \text{ M})$$

$$[\text{AgNO}_3] = \frac{(5 \text{ ml}) (1,02040 \times 10^{-2})}{2 (5 \text{ ml})} * (0,3)$$

$$[\text{AgNO}_3] = 1,5306 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{AgNO}_3 = 169,87 \text{ gr/mol} * 1,5306 \times 10^{-3} \text{ mol/lt} = 0,26 \text{ gr/mol}$$

Acido oxálico



Cal (CaO) = 56 gr/mol

Concentración de la cal [CaO] = 0,03 % = 0,3 gr/lt.

$$\frac{0,3 \text{ gr/lt}}{56 \text{ gr/mol}} = 5,35714 * 10^{-3} \text{ M}$$

Ecuación: $V_{\text{ox}} [\text{AcOx}] = V_{\text{CaO}} [\text{CaO}]$

$$[\text{AcOx}] = \frac{(5 \text{ ml}) (5,35714 * 10^{-3} \text{ M})}{(5 \text{ ml})} * (0,5)$$

$$[\text{AcOx}] = 2,67857 * 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{AcOx} = 126,07 \text{ gr/mol} * 2,67857 \text{ mol/lt} = 0,34 \text{ gr/lt}$$

ANEXO D

EJEMPLO PARA LA TITULACION DEL CIANURO

$$[\text{AgNO}_3] = 1,5306 * 10^{-3} \text{ M}$$

Indicador = KI

Ecuación:

$$2 V_{\text{AgNO}_3} [\text{AgNO}_3] = V_{\text{CN}^-} [\text{CN}^-]$$

$$2 V_{\text{AgNO}_3} [1,5306 * 10^{-3} \text{ M}] = [\text{CN}^-]$$

$$[\text{CN}^-] = \frac{2 (1,5306 * 10^{-3} \text{ M})}{(5 \text{ ml})} * X_{\text{mlAgNO}_3} * 49$$

$$\begin{aligned} [\text{CN}^-] &= X_{\text{ml AgNO}_3} * 0,03 = X_1 \text{ (concentración)} \\ &= \text{VOL} * X_1 = X_2 \\ &= \text{VOL} * 0,5 = X_3 \end{aligned}$$

$$X_3 - X_2 = X_4 \text{ (añadir)}$$

ANEXO E

EJEMPLO PARA LA TITULACION DE LA CAL

$$[\text{Acido oxálico}] = 2,67897 * 10^{-3} \text{M}$$

Indicador = Fenolftaleína

Ecuación:

$$V_{\text{AcOx}} [\text{AcOx}] = V_{\text{CaO}} [\text{CaO}]$$

$$V_{\text{AcOx}} \left[\frac{2,67857 * 10^{-3} \text{M}}{5 \text{ ml}} \right] = [\text{CaO}]$$

$$[\text{CaO}] = \frac{X \text{ ml AcOx} * 2,67857 * 10^{-3} \text{M}}{5 \text{ ml}} * 56$$

$$[\text{CaO}] \quad 0,3 \text{ gr/lt} = X \text{ ml AcOx} * 0,03 = Y1 \text{ (concentración)}$$

$$V_{\text{OL}} * Y1 = Y2$$

$$V_{\text{OL}} * 0,3 = Y3$$

$$Y3 - Y2 = Y4$$

$$Y4 / 0,492 = Y5 \text{ (añadir)}$$

ANEXO F

METODO DE CHIDDEY PARA MATERIAL CONCENTRADO

W doré = 0,0357 gramos

0,0357 gr/lt * 3,5 lt = 0,12495 gr de oro

$$\frac{0,12495 \text{ gr}}{3,850 \text{ Kg}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} = 32,45 \text{ gr/Ton de oro disuelto}$$

PORCENTAJE DE RECUPERACION:

$$\frac{32,45}{58} * 100 = 55,95 \%$$

COLAS CIANURADAS:

W doré = 0,0005 gramos



BIBLIOTECA

ANEXO G

METODO DE CHIDDEY PARA COLAS DE CANALON

W doré = 0,0101 gramos

0,0101 gr/lt * 3,5 lt = 0,03535 gramos

$$\frac{0,03535 \text{ gr}}{2,694 \text{ Kg}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} = 3,12 \text{ gr/Ton}$$

PORCENTAJE DE RECUPERACION:

$$\frac{13,12}{33,3} * 100 = 39,4 \%$$

COLAS CIANURADAS:

Wdoré = 0,0012 gramos