

Universidad Nacional de Ingeniería

Programa Académico de Ingeniería
Geológica Minera y Metalúrgica



**Lixiviación Subterránea y en Pilas
en Cerro de Pasco**

**TITULACION PROFESIONAL
EXTRAORDINARIA**

TRABAJO PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO DE
Ingeniero de Minas

Ricardo Rómulo Negrón Ballarte

Lima - Perú

1983

**LIXIVIACION SUBTERRANEA Y EN PILAS
EN CERRO DE PASCO**

S U M A R I O

- 1.- Introducción**
- 2.- Generalidades de la Mina**
 - 2.1. Localización e Historia**
 - 2.2. Características del depósito**
 - 2.3. Reservas de mineral lixiviable**
- 3.- Antecedentes**
- 4.- Aplicabilidad de la lixiviación en Cerro de Pasco**
 - 4.1. Minerales que se lixivian**
 - 4.2. Lixiviación química**
 - 4.3. Variables de la lixiviación**
- 5.- Cantidad y calidad de las soluciones**
- 6.- Operaciones en subsuelo**
 - 6.1. Selección de los puntos de lixiviación**
 - 6.2. Laboreo de minas**
 - 6.3. Irrigación de los puntos de lixiviación**
 - 6.4. Bombeo y tratamiento del impregnado**
 - 6.5. Recolección y control de la solución impregnada**
 - 6.6 Problemas**
- 7.- Operaciones de lixiviación en superficie**
 - 7.1. Formación de bancos**
 - 7.2. Irrigación**
 - 7.3. Tratamiento del impregnado**
 - 7.4. Problemas**
- 8.- Plantas de cementación**
 - 8.1. Descripción y capacidad de las instalaciones**
 - 8.2. Reacciones químicas del proceso de precipitación**
 - 8.3. Variables de la precipitación de cobre**
 - 8.4. Calidad de la chatarra**

9.- Datos estadísticos

9.1. Producción , eficiencia y costos

9.2. Personal y organización

10.- Apendices

- Características de las aguas de mina y soluciones productos de la lixiviación.
- Control de lixiviación en mina sub suelo
- Características de las bombas(de acero inoxidable)
- Estadística comparativa de producción
- Análisis de costos de precipitado de Cobre
- Organización de la sección de precipitado de Cobre
- Pruebas a escala piloto para pasar de una planta de Concentración a extracción por solventes y electrodo de posición.

11.- Gráficos

- Galerías de lixiviación en vetas
- Galerías de lixiviación fuera de vetas
- Diagrama de flujo de bombeo de aguas de mina subterránea
- Diagrama de flujo de lixivisción en el SP N°2
- Planta de cementación de Exelcior
- Planta de cementación de Exelcior(de perfil)

LIXIVIACION SUBTERRANEA Y EN PILAS EN CERRO DE PASCO

1. INTRODUCCION

Se ha preparado el presente artículo como una contribución a la XIV Convención de Ingenieros de Minas del Perú.

El objetivo del presente trabajo es mostrar la factibilidad de aplicación del proceso Lixiviación-Cementación utilizados en la mina Cerro de Pasco en otros yacimientos de características similares.

La Tecnología de la Lixiviación Subterránea fue desarrollada por experiencia propia del personal de esta mina, que data desde el año 1935; la lixiviación de las pilas de mineral en superficie y el proceso de cementación fueron implementados con ayuda de tecnologías análogas aplicadas en otras minas del mundo.

La particularidad de la lixiviación subterránea, radica en que se está operando en áreas de explotación antigua donde las condiciones ambientales y de trabajo son bastante difíciles, los mismos que impiden el normal desenvolvimiento de las operaciones de lixiviación.

El proceso de lixiviación-cementación en Cerro de Pasco surgió como una alternativa para recuperar los minerales marginales de cobre dejados en Sub-suelo que por otros medios sería casi imposible realizarlo; asimismo recuperar el contenido de cobre del mineral de pirita depositadas en pilas producto del desbroce del Tabajo Abierto.

Los gastos ocasionados por el bombeo del drenaje de las aguas de mina son pagados ventajosamente por el cobre recuperado de estas soluciones.

2. GENERALIDADES DE LA MINA

2.1. LOCALIZACION E HISTORIA

El distrito minero de Cerro de Pasco se encuentra localizada en la cordillera central de los Andes a 4,330 msnm.; al N-29°E de la ciudad de Lima a una distancia de 180 Km. en línea recta. Se conecta con la capital por medio de carretera a línea férrea de 370 Kms.

Probablemente se explotaron minerales de plata antes de la Conquista Española; de acuerdo a las leyendas, el yacimiento fue descubierto por un pastor llamado Huaricapcha. En 1901 se comenzó la explotación con los métodos más modernos de esa época, dando origen en 1915 a la formación de la "Cerro de Pasco Copper Corporation", compañía que explotó los minerales de cobre hasta 1963, fecha en que se suspendió su extracción y se comenzó con la explotación de los minerales de Pb/Zn. El 1o. de enero de 1974, el Gobierno Peruano tomo posesión de las minas de la Cerro de Pasco, formando la Cía. Centromin-Peru.

2.2. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL DEPOSITO

El depósito de mineral está localizada en la zona Este y Sur de la chimenea volcanica terciaria rellenas por rocas piroclásticas e intrusivas, el cuello volcánico está formado por la intersección de 2 sistemas de fracturas oblicuas al plegamiento regional. En la margen oriental de este cuello volcánico se emplazó el cuerpo de silicopirita de 1800 metros de largo y de 300 mts. de ancho máximo, dentro del cual se han localizado los cuerpos irregulares y vetas de menas metálicas económicas. Los minerales principales de menas son el plomo, zinc, cobre y plata.

Las vetas de mineral de cobre atraviezan el cuerpo de silicopirita y rellena fracturas abiertas de las rocas volcánicas con rumbo promedio Este-Oeste, existen dos sistemas de vetas el del lado Norte que buzcan 75° hacia el Sur y la veta del lado Sur con buzamiento de 55 a 75° hacia el Norte, la mineralización en ambos sistemas es similar y las cajas encajonantes pirita-volcánico y filitas siguiendo un rumbo de Este a Oeste.

2.3. RESERVAS DE MINERAL LIXIVABLE

Los minerales marginales de cobre de subsuelo y tajo abierto son altamente lixiviable. En subsuelo se lixivian los rellenos de los tajeos antiguos explotados por cobre, las cajas, pilares y algunos ramales de vetas que no han sido minados por ser muy angostos y marginales; en realidad, lo que más se lixivian son el relleno de los tajeos que en la mayor parte son pirita con ley promedio estimada de 0.7% de cobre y cuyo tonelaje es difícil determinar, pero se sabe que en los pilares y "splits" han quedado alrededor de 900,000 t.c.s. de mineral con una ley promedio de 2.8% de Cu. y 3.3 Onz de plata que son inaccesibles en la actualidad. La reserva de pirita con minerales de cobre, hasta el nivel 1000 es de 30'000,000 t.c.s. con ley promedio de 0.5% de Cu. A la fecha se han depositado en la pila del SP-2 20'000,000 t.c.s. de pirita con una ley de 0.6% de Cu.

3. ANTECEDENTES

A comienzos del siglo XX, al decaer la importancia de la minería de plata, en Cerro de Pasco, se inicia la explotación de los minerales de cobre la que se lleva a cabo en forma continua hasta el año de 1963.

Los métodos de minado más usuales empleados en la explotación de los cuerpos y vetas de cobre fueron los de "Almacenamiento provisional", "Corte y Relleno" y el de "Tajos Abiertos".

La caída de las reservas del mineral de cobre en la década pasada, obligó al minado de los cuerpos de plomo-zinc, los que son intensamente explotados en la actualidad.

La recuperación del cobre de las "Aguas de mina" por cementación, datan del año 1935, fecha en que se extraían pequeñas cantidades de este metal tratándolos con chatarra en canales especialmente contruidos en subsuelo. En el año 1963 se le dio la verdadera importancia a este proceso y de este modo se centralizan las operaciones de cementación en superficie, solucionando de este modo los problemas de manipuleo de materiales ocasionados por las operaciones en Subsuelo. Por otro lado en 1956 se comenzaron los trabajos del tajo abierto MC CUNE, en la zona denominada "Tacna-Arica", donde el mineral de pirita con leyes de 0.8% de cobre, producto del desbroce, fueron almacenados en una zona denominada Stock pile No. 2, para posteriormente ser lixiviada, trabajo que se inició en 1963.

En 1956 se instaló una planta Piloto para la extracción del cobre por intercambio iónico sólido-líquido, utilizando resinas de tipo carboxílico lo cual no dio los resultados esperados.

En 1967-1968 entran en operación las Plantas Industriales de Excelsior y Garacalón las que actualmente tratan las soluciones impregnadas provenientes de sub-suelo y las pilas de mineral de superficie.

Las colas de naturaleza ácida de alto contenido de fierro provenientes de las Plantas de Cementación han generado problemas de contaminación de proyección regional al fluir estas soluciones al río Mantaro. Centromin-Perú está proyectando a corto plazo sustituir el proceso actual de cementación con chatarra de fierro, por el de "Extracción por Solventes y Electrodeposición", que nos permitirá obtener cátodos de cobre de alta pureza con menores costos de operación desechado el consumo de chatarra, reduciendo consecuentemente la contaminación de los ríos.

4. APLICABILIDAD DE LA LIXIVIACION EN CERRO DE PASCO

4.1. MINERALES QUE SE LIXIVIAN

Los principales minerales de cobre que se lixivian en Cerro de Pasco son:

En Subsuelo

- * Enargita $(\text{Cu}_6 \text{As}_2 \text{S}_8)$
- * Luzonita $(\text{Cu}_6 \text{As}_2 \text{S}_8)$
- * Calcocita $(\text{Cu}_2 \text{S})$

Tetrahedrita-Tenantita

Chalcopyrita (Cu Fe S_2)

Bornita $(\text{Cu}_3 \text{Fe S})$

Covellita (Cu S)

En las pilas de superficie

- * Enargita $(\text{Cu}_6 \text{As}_2 \text{S}_8)$
- * Luzonita $(\text{Cu}_6 \text{As}_2 \text{S}_8)$
- * Calcocita $(\text{Cu}_2 \text{S})$
- Covellita (Cu S)
- Malaquita $(\text{Cu}_2 \text{CO}_4 + \text{H}_2\text{O})$
- Azurita $(\text{Cu}_3 \text{C}_2 \text{O}_7 + \text{H}_2 \text{O})$

Todos

Todos estos minerales están asociados en gran porcentaje con la Pirita, habiendo ensayos que reportan hasta 90% de pirita y (también hay) concentraciones de cobre hasta 3%.

Las gangas principales son:

Pirita + pirrotita

Sílice

Esfalérita/Marmatita

Galena y Solubles más Compuestos menores

(*) Principales sulfuros de cobre lixiviables.

4.2. LIXIVIACION QUIMICA

Las características especiales de este yacimiento permiten que las aguas subterráneas y atmosféricas percolen a través de las fracturas del mineral, promoviendo la disolución del sulfuro de hierro (Pirita) ayudado por la acción del oxígeno del medio ambiente; formándose el ácido sulfúrico y sulfato ferroso y en una posterior oxidación de este último el sulfato férrico que conjuntamente con el ácido sulfúrico es considerado un buen agente lixivante de los sulfuros metálicos. Como se puede observar esta solución se genera en forma natural, haciendo más económica las operaciones de lixiviación tanto en superficie como en subsuelo.

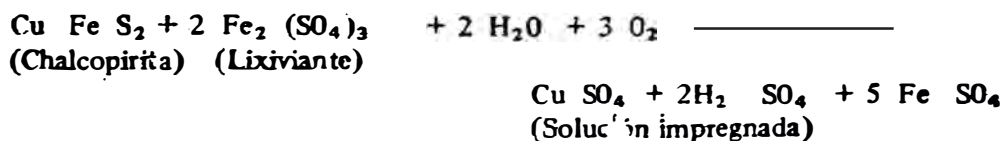
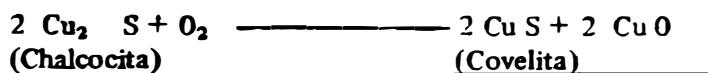
Las reacciones principales que ocurren durante el proceso son las siguientes:



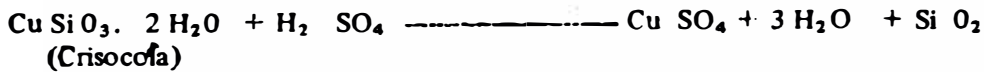
(pirita) + (medio ambiente) (Sulfato Férrico) + (ácido sulf)
Solución Lixivante



Los sulfuros de cobre se oxidan parcialmente adquiriendo propiedades hidrofílicas, permitiendo su lixiviación con soluciones acuosas ácidas de acuerdo a las siguientes reacciones:



La lixiviación de los minerales oxidados ocurren de acuerdo a las siguientes reacciones:



4.3. VARIABLES DE LA LIXIVIACION

De las diferentes variables de la lixiviación las siguientes son las más importantes en Cerro de Pasco:

En Subsuelo:

1) SUPERFICIE ACTIVA DEL MINERAL

La mejor fragmentación del mineral de pirita con contenido de cobre, localizado en el relleno de los tajeos antiguos ayudará positivamente a la lixiviación. En este caso el tamaño de los fragmentos oscilan entre 2" y 8" que es el adecuado para la lixiviación.

2) CANTIDAD ABSOLUTA Y CONCENTRACION DE ACIDO LIBRE

Teóricamente la cantidad de ácido libre para la lixiviación de un óxido de cobre es de 1.5 unidades de ácido libre por cada unidad de cobre recuperado. En Cerro de Pasco la cantidad de ácido libre del lixivante es alrededor de 3.5 gr/Lit.

3) PH DEL LIXIVIANTE.

El PH de la solución lixivante es de 1.8 y el obtenido en las soluciones impregnadas es de 1.4.

Actualmente se están haciendo pruebas para llevar la acidez del lixivante a PH = 2 y obtener un impregnado de PH = 1.8 para poder ser tratado por el método de "Extracción por solventes y Electro deposición.

4) TEMPERATURA DE LOS PUNTOS DE LIXIVIACION

La experiencia nos ha demostrado que temperaturas superiores a 32°C ayudan a la mejor recuperación del cobre. En los tajeos abandonados de esta mina se encuentran fácilmente estas temperaturas.

5) BUZAMIENTO DE LAS VETAS

La mayor verticalidad de las vetas ayudará a la mejor percolación de lixivante y a la posterior recolección de la solución impregnada. En este yacimiento el buzamiento de las vetas es alrededor de 75°.

6) HUMEDAD DEL MINERAL

Es necesario darle al mineral cierto porcentaje de humedad para ayudar la oxidación de la pirita, en la práctica esta condición la obtenemos regando el mineral previamente a la lixiviación.

5. CANTIDAD Y CALIDAD DE LAS SOLUCIONES

Las aguas de mina de Cerro de Pasco son de tres tipos: agua industrial, agua de barren o ácida estéril y agua de cobre, cuyas características se muestran en el Apéndice No. 1.

a) AGUA DE COBRE MINA (Solución impregnada de subsuelo)

Es el producto de la lixiviación de los minerales de cobre en subsuelo y son recolectadas en los niveles 1200, 1400 y 2100 para luego ser bombeados a las plantas de cementación en superficie. Tiene un flujo aproximado de 1500 GPM (promedio mensual).

b) AGUA DE BARREN O ACIDA ESTERIL

Es el lixivante obtenido en forma natural de los minerales de cobre, provienen principalmente de las filtraciones subterráneas y de la percolación de las aguas atmosféricas, tiene una acidez aproximada de 3.5 gr/lit y una concentración de 0.13 gr de cobre/lit.

Es bombeada a superficie en un volumen de 1800 GPM, de ella aproximadamente un 60% retorna a la mina y el resto es bombeada al reservorio de Huancocha para ser utilizada como lixivante en las pilas de mineral.

Al "barrén" se suma el agua de drenaje del Relleno Hidráulico (empleado en la explotación del área de Plomo-Zinc) que tiene un gran porcentaje de sólidos en suspensión por lo cual se hace necesario sedimentarla con la finalidad de que éstos no impermeabilicen las áreas de lixiviación.

c) AGUA INDUSTRIAL

Proviene de las lagunas y ríos de superficie y un volumen menor de las filtraciones subterráneas, alcanzan un flujo aproximado de 1000 GPM. Es utilizada en las operaciones industriales de la mina y como lixivante en un promedio de 200 GPM.

d) LIXIVIANTE SP-2

Es el resultado de la mezcla del agua de barrén de mina con aguas neutras, tiene un flujo aproximado de 2.300 GPM. Se utiliza en la lixiviación del mineral de cobre depositado en los diferentes bancos del SP-2.

e) SOLUCION IMPREGNADA SP-2

Es el producto de la lixiviación de las pilas de mineral del SP-2 que luego de percolar por 19 horas es recolectada en el reservorio de Garacalón para un tratamiento en la Planta del mismo nombre. De un total de 1230 GPM, 800 GPM. es bombeada a la Planta Excelsior donde al mezclarse con el agua de cobre mina en la proporción de 1 a 2 constituye la solución de cabeza impregnada de la Planta Excelsior.

f) COLAS DE LA PLANTA DE CEMENTACION

Constituye el producto de deshecho de las plantas de cementación, tienen un alto contenido de Fe y acidez y un volumen de 3300 GPM, estas soluciones son enviadas a Quiulacocha e ingresan al río San Juan, afluente del río Mantaro.

6. OPERACIONES EN SUBSUELO

Se lixivia desde el nivel "A" (más alto) hasta el nivel 800. Incluye algunas entradas desde superficie.

6.1 SELECCIONES DE LOS PUNTOS DE LIXIVIACION

Para seleccionar las áreas futuras de lixiviación será necesario conocer la historia, leyes, potencia, reservas y tipo de roca encajonante de cada una de las vetas, para tal fin recurrimos a la información que nos proporciona el último inventario de minerales que data del año 1959 (correspondiente a la zona de la mina que estamos lixivando).

La experiencia nos ha demostrado que los aspectos determinantes para que una veta sea lixiviada ventajosamente son el tipo de roca encajonante y naturaleza del relleno. Así tenemos que las vetas ubicadas en el área norte donde el relleno y el mineral encajonante es la pirita con cobre son las más productivas que las del área sur donde el encajonante son volcánicos, en el segundo paso la acción del lixivante se circunscribirá al mineral que ha quedado en las cajas, puentes y eventualmente bloques que se han dejado por tener leyes marginales.

6.2 LABOREO DE MINAS

Seleccionadas las áreas de lixiviación, se proceden a los trabajos propios de laboreo de manera que nos permitan llegar en forma rápida y segura a los futuros puntos de lixiviación. Hay que recordar que se está trabajando en una zona de explotación antigua, abandonada, donde son frecuentes los derrumbes, incendios, gases tóxicos y golpes de agua.

Cuando se ha obtenido el acceso a la veta por los medios convencionales de laboreo, desarrollamos dos tipos de preparaciones:

a) GALERÍAS SOBRE "VETA"

Estas galerías son desarrolladas sobre relleno, el laboreo en este caso es bastante dificultoso por las razones expuestas en el acápite anterior. Los costos de construcción y mantenimiento son elevadas debido principalmente a que el enmaderado es afectado por las filtraciones de agua sulfatada y las fuertes presiones del relleno.

La ventaja de este método es que nos permiten hacer una lixiviación uniforme e integral de la veta, disminuyendo el peligro de que el lixivante se canalice haciendo ineficiente el proceso del "lavado". Ver figura No. 1.

b) GALERIAS PARALELAS A LA "VETA"

Son construidos sobre roca competente paralelamente a la veta por la caja piso (cuando tiene un fuerte buzamiento), y a una distancia de 10' a 30', para evitar posibles debilitamientos en el área de trabajo. A partir de estas galerías se comunican pequeños cruces hacia la veta espaciados cada 15 a 20', que en su tramo final tienen una gradiente negativa con la finalidad de represar el lixivante y mejorar la penetración de éste ayudado por la presión hidrostática del líquido. (Ver figura No. 2).

Se está generalizando este tipo de preparaciones porque permiten obtener los puntos de lixiviación de una manera fácil y segura; siendo además los costos de construcción y mantenimiento menores en comparación al método anterior. Este método no permite hacer una lixiviación integral y uniforme de la veta, ya que los puntos de irrigación están espaciados cada cierto tramo. (de 20 a 25).

6.3 IRRIGACION DE LOS PUNTOS DE LIXIVIACION

Es otra de las etapas importantes dentro del proceso de la lixiviación subterránea, consiste en el transporte del agua "barrén" desde el nivel 100 a las áreas de lixiviación. Para tal efecto se tienen instalados una red de tuberías PVC de 8" ϕ , 6" ϕ y 4" ϕ y finalmente mangueras de polietileno de 2" ϕ con sus respectivas válvulas de control de flujo, con las que se llega a los puntos de lixiviación.

El agua de lixiviación llega fácilmente por gravedad a los diferentes niveles, siendo el volumen y presión de descarga final lo suficiente como para hacer una lixiviación eficiente. La presión de descarga es de 10 a 50 lbs./pulg². y varía de acuerdo a la diferencia de cota de los lugares de lixiviación.

La lixiviación en estas vetas debe hacerse sistemáticamente llevando un control cuidadoso de los periodos de oxidación-lixiviación, para lo cual se ha elaborado un cuadro de "Control Diario de Lixiviación" el que se muestra en el Apéndice No. II.

En la figura No. 3 se muestra un esquema de la red de tuberías de lixiviación.

6.4 BOMBEO Y TRATAMIENTO DEL IMPREGNADO

En subsuelo se tienen 3 estaciones de bombeo ubicadas en los niveles 2,100 (Lourdes), 1,400 y 1,200 (Excelsior) para el transporte del impregnado y el "barrén" a superficie. En el nivel 800 tenemos otra estación para el bombeo del agua industrial a superficie.

En cada estación existe tres bombas: una para el impregnado, otra para el barrén y la tercera de repuesto. Estas pueden bombear sólo el impregnado o barrén, adecuándose a las necesidades de operación.

El bombeo del impregnado se hace del nivel 2,100 (el más bajo de la mina), hasta el 1400 donde se mezcla con el producto de lixiviación de las vetas que llegan a este nivel bombeándose luego al nivel 1200 Excelsior y finalmente a superficie para su tratamiento en la Planta Excelsior.

El bombeo del agua barrón se hace en dos etapas, desde el nivel 2100 al 1200 y de éste al nivel 100. El transporte es realizado íntegramente a través de dos chimeneas de agua (Water Rise). En el nivel 100 un 60% del volumen es tomado para la lixiviación subterránea y el remanente es bombeado al reservorio denominado "Hanancocha" para lixiviar las pilas de mineral de SP-2.

Las tuberías usadas para el transporte, son de acero inoxidable de 10" de ϕ con revestimiento interior de plomo para ser protegidas de la acción corrosiva de las aguas ácidas.

En la figura No. 3 se muestra el Flow Sheet de bombeo y las características de las bombas en el apéndice No. III.

6.5 RECOLECCION Y CONTROL DE LA SOLUCION IMPREGNADA

Las soluciones impregnadas son recolectadas en los niveles 1200, 1400 y 2100, siendo el más importante el 1200 que es hasta donde profundizan el mayor número de las vetas. En estos niveles las soluciones son conducidas a los pozos de sedimentación y posteriormente a las estaciones de bombeo por medio de canales, cunetas y tuberías.

En los niveles de recolección tenemos también definidos los puntos de descarga del impregnado procedente de las diferentes vetas; en estos puntos de control realizamos diariamente el muestreo para determinar la cantidad y calidad de las soluciones cuyos resultados nos servirán para modificar los puntos de lixiviación en los niveles superiores.

6.6 PROBLEMAS

- a) Derrumbes antiguos, se presentan generalmente en las intersecciones de los tajeos con las galerías en rehabilitación. Estas son muchas veces de nivel a nivel por lo que los trabajos de laboreo resultan complicados y exigen tomar las precauciones del caso.
- b) El relleno de los tajeos antiguos, al ser remojado por el lixivante, recarga la presión en los niveles inferiores, pudiendo originar "sopladas" de grandes proporciones por falla del sostenimiento, especialmente en las galerías de recolección, interrumpiendo la lixiviación de las áreas afectadas.
- c) La presencia de gases SO_2 , SO_3 y CO , por la oxidación de la pirita y la combustión incompleta de la madera, en ciertas zonas de trabajo (las que se tienen controladas), nos exigen el uso de ciertos aparatos de protección contra gases como Mc caa, Dräger, Air service, etc.
- d) La interrupción del suministro por fallas mecánicas, eléctricas u otras causas si no son solucionadas a tiempo pueden originar graves problemas en el drenaje de la mina lo cual nos obliga a tomar una serie de medidas de emergencia.

7. OPERACIONES DE LIXIVIACION EN SUPERFICIE

7.1 FORMACION DE BANCOS

El área donde se han hecho las pilas tiene una gradiente de 4% y la solución impregnada se recolecta de la represa de Garacalón. Estas pilas son hechas con parte del material estéril proveniente del tajo Mc Cune.

MINERAL EN LIXIVIACION

Cu	Fe	Pb	Zn	Ag	Insoluble
0.60	31.4	0.80	0.67	3.0 *	30.44

Densidad del mineral a lixiviarse en las pilas : 3.1 TM/m³.

Los bancos tienen una altura promedio de 10 metros, no requieren de una construcción especial aunque lo ideal sería no superponerlos o independizarlos para poderlos lixiviar de una manera más eficiente. Actualmente se observa:

- La degradación del cobre en la solución procedente del mineral nuevo al circular por un estrato inferior bastante liviado.
- El incremento del contenido de Hierro en las soluciones impregnadas, que no permite la recirculación de las colas ya que una alta concentración de este elemento podría provocar una precipitación de hidróxido de hierro impermeabilizando las piritas impidiendo su lixiviación.

7.2 IRRIGACION

La irrigación de los bancos se realiza utilizando el agua "barrén" procedente del drenaje de la mina el cual tiene un promedio de 3.5 gr/lit de ácido libre, no usando en consecuencia ningún aditivo complementario. Esta irrigación se hace por roceamiento.

El flujo promedio administrado es de 2300 GPM, el que deberá distribuirse de tal manera de obtener un rate de percolación de 10 lts/hora x m²; para tal efecto el área en operación sería:

$$\frac{1800 \times 3.785 \times 60 \text{ Gal.} \times \text{Lt.} \times \text{Mn} \times \text{Hr} \times \text{m}^2}{10 \quad \text{Mn} \times \text{Gal.} \times \text{Hr} \times \text{Lt.}}$$

40.878 m².

Actualmente el rate de percolación alcanza a más o menos Lt/hora x m². La lixiviación de los bancos por aspersión se realiza utilizando mangueras de polietileno de 2" ϕ con perforaciones de 1/8" ϕ distanciados cada 3 pies. El método de aspersión actualmente en uso es bastante práctico y origina una rápida degradación del contenido de cobre en las soluciones impregnadas obligándonos a hacer cambios seguidos de ubicación de las mangueras de irrigación.

Para obtener una buena lixiviación aparte de utilizar el método de aspersión es necesario tener una presión hidrostática de 10 mt. y una solución libre de cuerpos extraños que pueden obstruir los ductos finales de la instalación.

7.3 TRATAMIENTO DEL IMPREGNADO

Las soluciones de cobre luego de percolar por las pilas de mineral, discurren en la superficie del terreno que es una cuenca natural hasta un reservorio que también sirve como sedimentador. El agua impregnada con 0.6 gr. de Cu/lit y con flujo equivalente de 1600 GPM (10% del volumen se pierde por percolación y evaporación) se distribuye en la siguiente forma: 1000 GPM a la planta de cementación "Garacalón" y 600 GPM a la planta de Excelsior.

7.4 PROBLEMAS

Los problemas actuales son:

- a) La irrigación por rociamiento no produce la uniformidad deseada de distribución del lixivante, lo cual no permite establecer un rate de percolación óptimo como es nuestro objetivo, sino un efecto de canalización produciendo la rápida degradación del contenido de cobre en el impregnado.
- b) La superposición de los bancos que producen un efecto de recirculación trayendo como consecuencia el empobrecimiento acelerado del mineral y un incremento de fierro en las soluciones impregnadas.
- c) El apilamiento del mineral a lixiviarse se realiza sin un orden establecido y que por el hecho de realizarse tal operación con equipo pesado, produce con el tránsito una compactación del mineral sin perder su permeabilidad fenómeno que impide la lixiviación integral del mineral.
- d) Los troncos grandes de mineral provenientes del Tajo y la falta de equipo mecánico para remover las áreas compactadas.
- e) La falta de agua industrial que nos permita acondicionar el Ph del lixivante a utilizarse.

8. PLANTAS DE CEMENTACION

8.1 DESCRIPCION Y CAPACIDAD DE LAS INSTALACIONES

Las plantas de cementación "Excelsior" y Garacalzón" trabajan independientemente y tienen su propio circuito de flujo, tal como se muestra en el diagrama de flujo de la figura No. 4.

a) Planta Excelsior

Es la de mayor capacidad, procesa la solución impregnada proveniente de sub-suelo y de las pilas de mineral del SP-2 con un flujo equivalente a 2,116 GPM. Estas soluciones son represadas en un tanque con revestimiento interior de plomo donde a través de tres líneas de tubería PVC de 8" ϕ se alimentan a los dos bancos de cementación.

Los bancos de cementación están contruidos con una inclinación de 3^o con respecto a la horizontal con la finalidad de que el lixiviante se desplace por gravedad a través del conjunto de celdas, que son 7 en total, están contruidas de tal manera que se produzcan dentro de ellas corrientes de flujo ascendentes y descendentes, con la finalidad de favorecer al mejor ataque de la chatarra de fierro.

La chatarra es colocada en las celdas en forma de "camas" estacionarias de 67" x 20" x 14' sobre cedazos una rejilla de madera o aluminio que tienen la finalidad de separar la chatarra del cemento a medida que el cobre se vaya precipitando. El tiempo de contacto es de aproximadamente 100 minutos por celda y está en función de la cantidad y calidad del impregnado.

En las figuras Nos. 5 y 6 se muestra la disposición de los bancos y la sección longitudinal de las celdas.

Una vez precipitado el cobre (el "Coke") es lavado usando un chorro de solución de colas a una presión de 150 lb/pulg², para luego el cemento de cobre sea descargado en forma de pulpa hacia un sedimentador, con algo de solución impregnada que se separa posteriormente por decantación. El cemento es sacado con un payloader a un patio de secado donde se almacena hasta que adquiera una humedad máxima de 30% para luego ser transportada a la Fundición de La Oroya por Ferrocarril.

La solución de colas, producto final de la precipitación, con 0.007% de cobre es enviada a la zona de Quiulacocha conjuntamente con el relave procedente de la Planta Concentradora de Plomo-Zinc.

b) Planta "Garacalzón"

Tiene aproximadamente una capacidad de 2,000 GPM., trata la solución proveniente del SP-2, la que previamente es almacenada en una represa y baja por gravedad distribuyéndose en los tres bancos de precipitación, los que siguen la misma inclinación de los de la Planta Excelsior y están compuestas por un total de 33 celdas.

El tiempo de contacto es de aproximadamente de 130'; el resto del proceso es similar al de la Planta Excelsior.

ANÁLISIS TÍPICO DEL CEMENTO DE COBRE

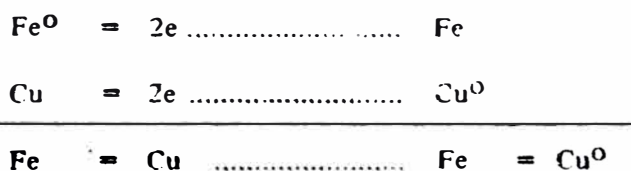
Cu	Pb	Zn	Ag	Au	Bi	Fe	S	Insolubles
%	%	%	oz/r		%	%	%	%
67.0	1.4	0.31	1.34	Trazas	0.22	7.9	2.4	3.5

8.2 REACCIONES QUÍMICAS DEL PROCESO DE PRECIPITACIÓN

El proceso de cementación se inicia cuando la solución impregnada es puesta en contacto con la chatarra donde el hierro se disuelve y se precipita el cobre conforme a la siguiente reacción:



Ocurre un intercambio iónico heterogéneo de acuerdo a las siguientes reacciones básicas:



Mediante este proceso la recuperación del cobre de la solución impregnada llega hasta un 99%.

8.3 VARIABLES DE LA PRECIPITACION DE COBRE

Entre las variables más importantes de la precipitación en Cerro de Pasco, tenemos:

- 1) Superficie de contacto entre el hierro y la solución impregnada.
- 2) Tiempo de contacto.
- 3) Temperatura de la solución.
- 4) Concentración de cobre en la solución.
- 5) Ph de la solución.

8.4 CALIDAD DE LA CHATARRA

La chatarra proviene de una planta que la empresa posee en el Callao, donde es procesada de acuerdo a los requerimientos de operación de las plantas de cementación.

La chatarra obtenida contiene de 75 a 85% de fierro metálico y está constituido en su mayor parte por chatarra liviana (latas, flejes, chapas, etc.).

La buena calidad de la chatarra nos permitirá obtener una buena producción de cemento con leyes hasta de 73% de cobre.

La ocurrencia de reacciones secundarias durante el proceso de cementación originan el mayor consumo de fierro dando lugar a que el ratio de consumo de fierro a cobre sea de 2.5 a 3.0.

9. DATOS ESTADISTICOS

9.1 PRODUCCION, EFICIENCIA Y COSTOS

La producción mensual promedio de cemento de cobre obtenido en el presente año fue de 769 TCS, con una ley de 67% de cobre metálico. Por otra parte cabe destacar que desde el año 1963 a la fecha se han producido 102,418.3 TCS de cobre fino con una pureza de 99.9% obtenido como producto de la refinación del cemento de cobre.

La eficiencia de producción en la actualidad es de 0.24 TCS de cemento/hombre-guardia.

En el apéndice No. IV se muestra un cuadro estadístico comparativo de los diferentes factores que intervienen en la producción del cemento de cobre.

El costo total de producción de una tonelada de cemento de Cu para el periodo de Enero a Julio del presente año fue de S/. 37,738.00 siendo 40,000.00 soles la contribución neta por tonelada de cemento de cobre producido.

En el apéndice No. V se hace un análisis de costos de la zona de precipitado de cobre para el mes de Julio.

9.2 PERSONAL Y ORGANIZACION

a) Personal de superficie (3 turnos).

Guardia de día:

Soldador	2
Bodeguero	1
Chofer.	3
Operador de grúa.	3
Operador de Payloader	1
Lixiviación pilas	9
Total.	49

Planilla mensual:

Sobrestantes de Guardia	3
Oficinista	1
Capataz	1
	<hr/>
Total.	5

b) Personal de Subsuelo (2 turnos)

Guardia diaria:

Tuberos de Lixiviación	31
Enmaderadores	28
Perforistas	12
Motoristas	4
Personal auxiliar	21
	<hr/>
Total.	96

Planilla mensual:

Sobrestantes.	3
Capataces.	2
	<hr/>
Total	5

En el Apéndice No. V, se describe el organigrama de la sección de Precipitado de Cobre.

CARACTERISTICAS DE LA AGUAS DE MINA Y SOLUCIONES PRODUCTO DE LA LIXIVIACION EN CERRO DE PASCO

(gr/lit. datos promedios de 1978)

SOLUCION	FLUJO G.p.m	Cu.	Fe/T.	Fe ⁺⁺	ACIDO LIBRE	Ph.
A AGUA DE COBRE MINA	1,448	0.89	7.5	5.65	7.45	1.22
B AGUA "BARREN" LI. XIVIANTE MINA	1,000	0.13	2.87	2.53	2.0	1.08
C AGUA INDUSTRIAL	1,000					
D LIXIVIANTE S.P. 2	2,371	0.03	6.03	1.3	4.2	1.32
F SOLUCION IM. PREGNADA PLANTA EXCELSIOR	2,116	0.77	9.83	7.02	8.25	1.16
G SOLUCION IM. PREGNADA PLANTA S.P. 2	1,230	0.53	11.18	9.55	8.12	1.35
H COLAS PLANTA EXCELSIOR	2,116	0.007	10.43	8.36	7.95	1.23
I COLAS PLANTA S.P. 2	1,230	0.018	12.32	11.86	8.51	1.24

CARACTERISTICAS DE LA BOMBAS

№	DESCRIPCION	G. P. M.		TIPO DE MOTOR	TUBERIA	LARGO	ALTURA	NIVEL
1	Ingersoll Rand Motor Pump Single 3 Run	550	270	G.E. 40HP 3560 RPM	4"	150'	100'	2200
2	Worthington Centrifugal 2 Stage 6UZD-1	2600	1040	G.E. 800HP 3580 RPM	36"	960'	926'	2125
3	Worthington Centrifugal 2 Stage 6UZD-1	2600	1040	G.E. 800HP 3580 RPM	36"	960'	926'	2125
4	Worthington Centrifugal	2600	1040	G.E. 800HP 3580 RPM	10"	780'	724'	2125
5	Ingersoll Rand Motor Pump Single 3 Run	550	210	G.E. 40HP 3560 RPM	4"	20'	12'	1400
6	Ingersoll Rand Centrifugal 2 Stages 6UVR	1000	225	G.E. 75HP 3565 RPM	10"	230'	200'	1400
7	Ingersoll Rand Centrifuga 2 Stages 6UVR	1000	225	G.E. 75HP 3565 RPM	10"	230'	200'	1400
8	Worthington Centrifugal 2 Stages 6UZD-1	2600	1040	G.E. 800HP 3575 RPM	10-2x8"	2600'	1113'	1200
9	Worthington Centrifugal 2 Stages 6UZD-1	2600	1040	G.E. 800HP 3580 RPM	36"	1050'	996'	1200
10	Worthington Centrifugal 2 Stages 6UZD-1	2600	1040	G.E. 800HP 3580 RPM	36"	1050'	996'	1200

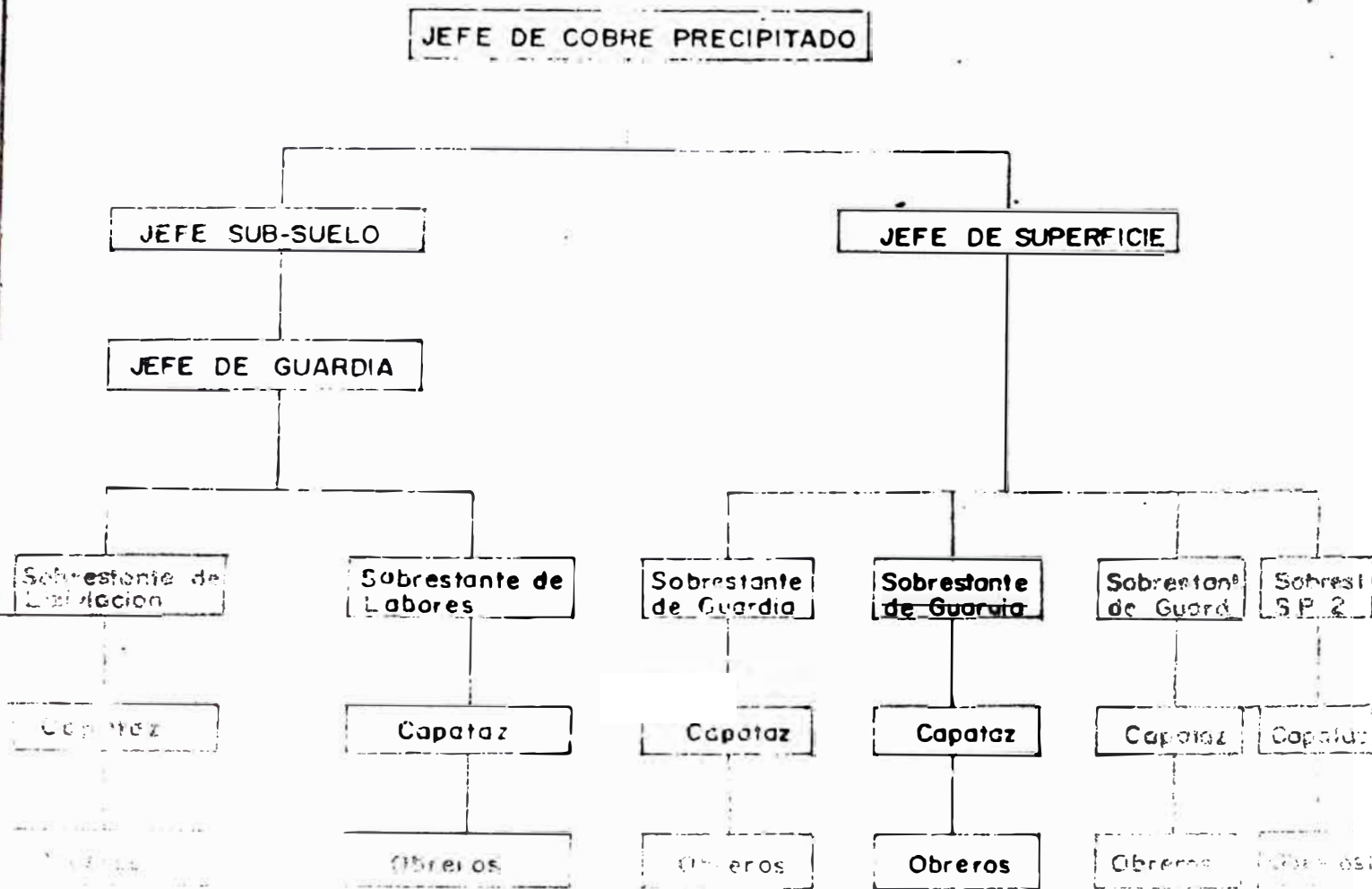
ESTADÍSTICA COMPARATIVA DE PRECIPITADO DE COBRE
(AÑO 1970-Julio 1, 1978)

Descripción	1,970	1,971	1,972	1,973	1,974	1,975	1,976	1,977	1,978
Producción Energía (TCS)	11,169	11,236	11,576	12,085	10,232	8,807	7,616	9,868	9,600
Cobre Metales (TCS)	8,603	7,827	8,209	8,187	6,897	5,760	4,558	6,271	5,952
Planta Metalúrgica (TCS)	10,119	22,345	15,082	20,512	13,558	12,348	10,029	13,783	
Ley de cobre (TCS/100)	0.058	0.950	0.830	1.05	1.007	0.910	0.829	.76	.68
Ley de cobre (TCS/100)	0.0010	0.002	0.004	0.034	0.259	0.0	0.022	0.13	0.013
Recuperación (%)	39.02	39.3	39.4	39.93	74.29	97.92	97.3	98.68	98.09
Costo Precipitado (TCS)	8,775	7,374	10,082	11,601	12,663	16,629	22,521	28,232	39,686
Eficiencia (TCS/precipitado)	0.56	0.55	0.37	0.37	0.32	0.28	0.22	.25	.24
Consumo de chatarra (TCS)	16,743	16,725	17,258	21,771	19,229	19,107	13,509	16,403	11,370
Agua Tratada (Gal. x 1000)	2'312,000	2'331,111	2'385,800	2'600,000	2'360,000	1'907,171	1'550,752	1'749,443	1'370,290
Consumo de Dinamita (Lbs)	7,889	2,350	7,750	10,350	7,109	2,591	5,344	5,092	674
Factor de Explosivo (Lib/TCS)	0.31	0.20	0.67	0.86	0.69	0.29	0.70	0.51	0.28
Efic. de Madera (Pu ² /TCS)	19.94	10.07	17.49	13.90	17.50	17.81	21.07	17.13	20.27
Total Tareas Precipitado	22,680	32,341	30,998	32,769	32,211	31,849	34,258	39,313	24,509

ANÁLISIS DE COSTOS DE F RECIPITADO DE COBRE
MES DE JULIO 1978

DESCRIPCION	Stock Pile N°2	PP. Superf.	PP. Subsuelo	Costos Generales
LABOR	802,200	1'552,100	2'668,200	184,300
MATERIALES	7'931,200	15'726,900	513,300	
SERV. Y MANTTO.	221,200	107,300	53,400	
OTROS				234,100
TOTAL DISTRIBUIDO	8'954,600	17'368,300	3'185,100	418,400
TOTAL NETO	29'926,400 Soles / Mes			
COSTO POR Tn. DE CMNTO.	37'738 Soles/t.c.s.			

ORGANIGRAMA DE LA SECCION DE PRECIPITADO DE COBRE



El Jefe de Cobre Precipitado tiene el rango de Ass't de Capataz y depende directamente del Ass't de Superintendente.

APENDICE No. 7

PRUEBAS A ESCALA PILOTO

3.1 OBJETIVO

El pilotaje se puso en marcha con la finalidad de establecer los parámetros fundamentales de las soluciones impregnadas en función de los cuales se hará el diseño de la nueva planta de SX-EW contemplado en el proyecto de "tratamiento de aguas de mina en Cerro de Pasco".

Los parámetros a determinarse son los siguientes:

- 1) Contenido de cobre promedio.
- 2) Ph
- 3) Contenido de Fierro y sólidos en suspensión.
- 4) Temperatura
- 5) Porcentaje de extracción de cobre.

3.2 CONDICIONES DE OPERACION

Para buscar los parámetros arriba mencionados se trabaja con un lixiviante de las siguientes características:

<u>Cu</u>	<u>Fe⁺</u>	<u>Fe⁺⁺</u>	<u>Ph</u>
0.06	2.5	1.68	1.97

gr/lit.

- 1) Rate de percolación 10 Lts/hora/m².
- 2) Ph = 1.97
- 3) Lixiviación ininterrumpida.

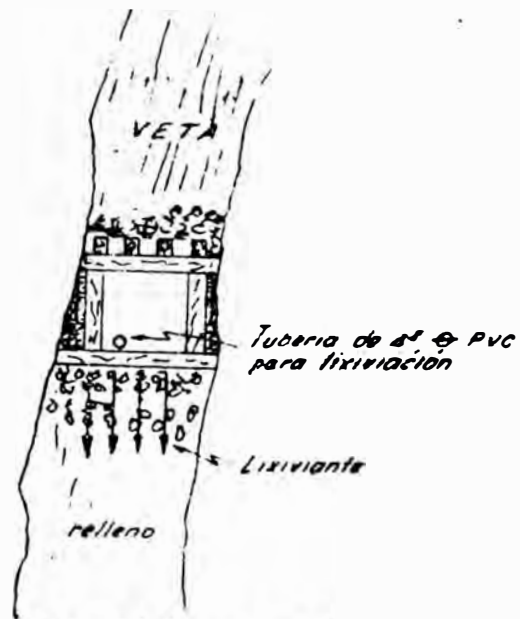
3.3 RESULTADOS

Para 210 días de lixiviación ininterrumpidos en un estrato granular de 9 m. de altura con 62,800 T.M. de mineral con 0.56% de cobre se han establecido los siguientes resultados promedio para las soluciones impregnadas:

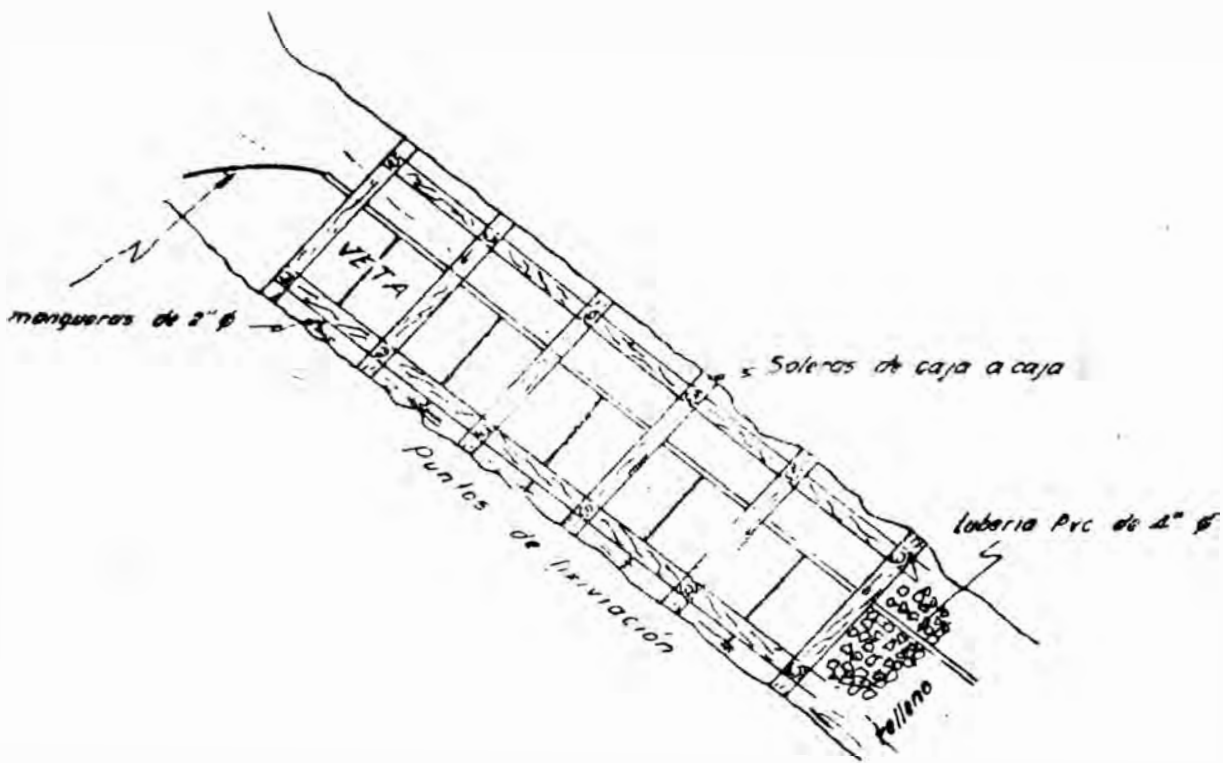
- a) Contenido de cobre 1.81 gr/lit.
- b) Ph 2.2
- c) Porcentaje total de extracción de cobre.

= 27.87%

- d) Escala de variación promedio del contenido de cobre desde el inicio hasta el final de los 210 días de operación de: 5.6 a 0.69 gr/lit.
- e) Temperatura 13.5 C.
- f) Fierro total = 4.15 gr/lit.

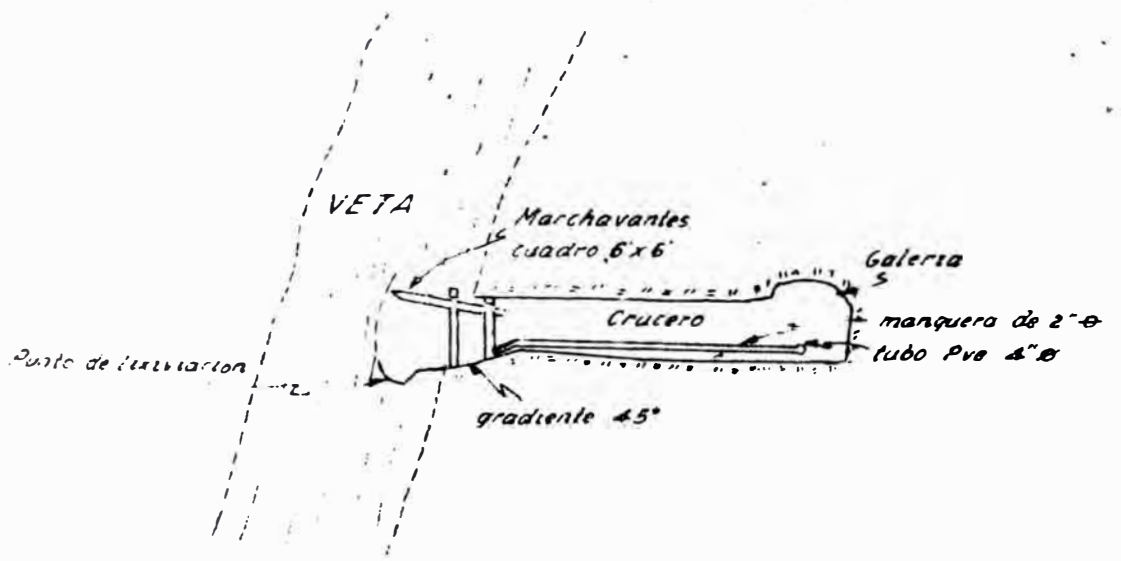


Sección A-A'

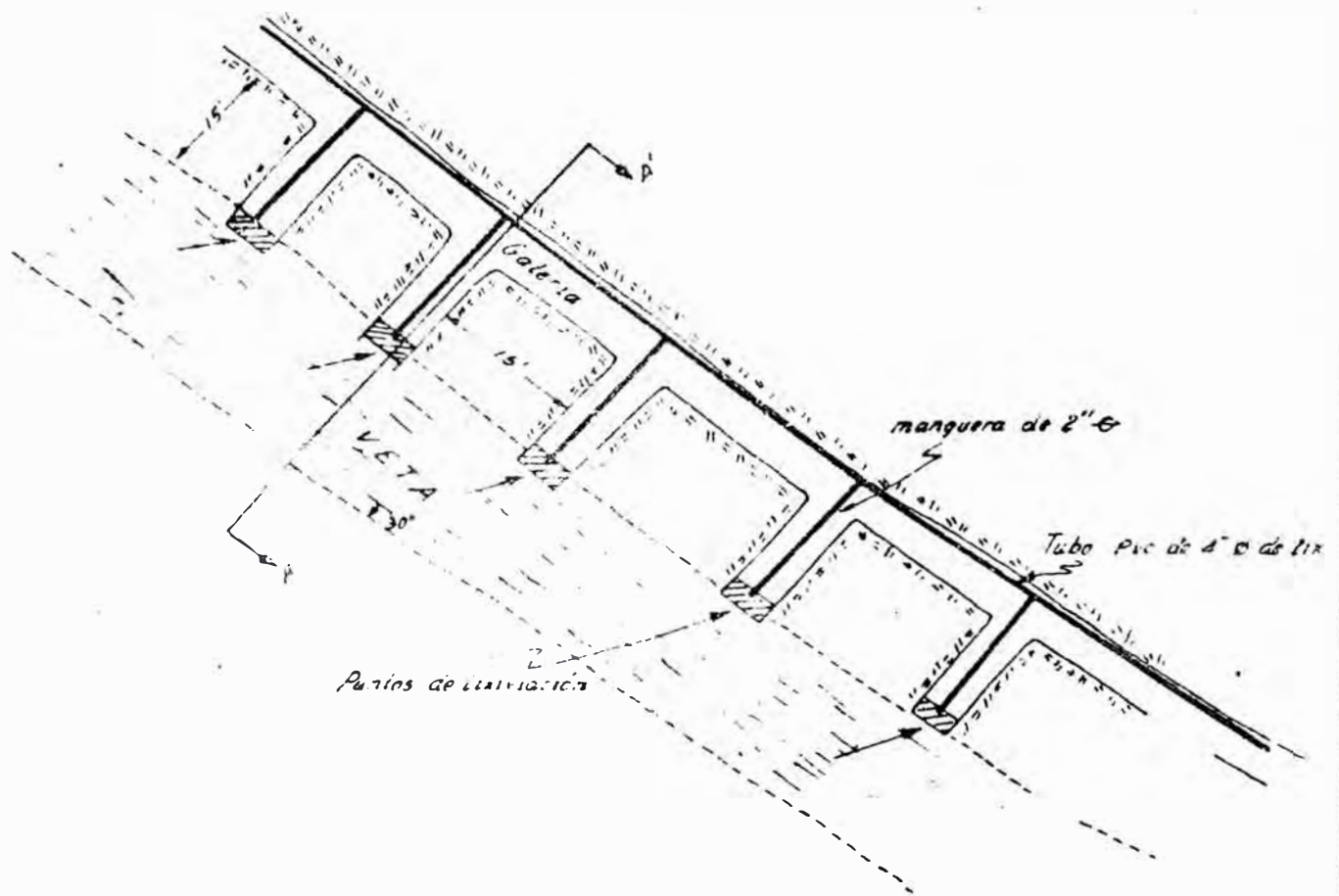


Vista de Planta

CENTROMIN-PERU
GALERIA DE LIXIVIACION
EN VETAS



Sección A-A'



Vista de Planta

CENTROMIN-PERU
GALERIA DE LIXIVIACION
FUERA DE VETAS

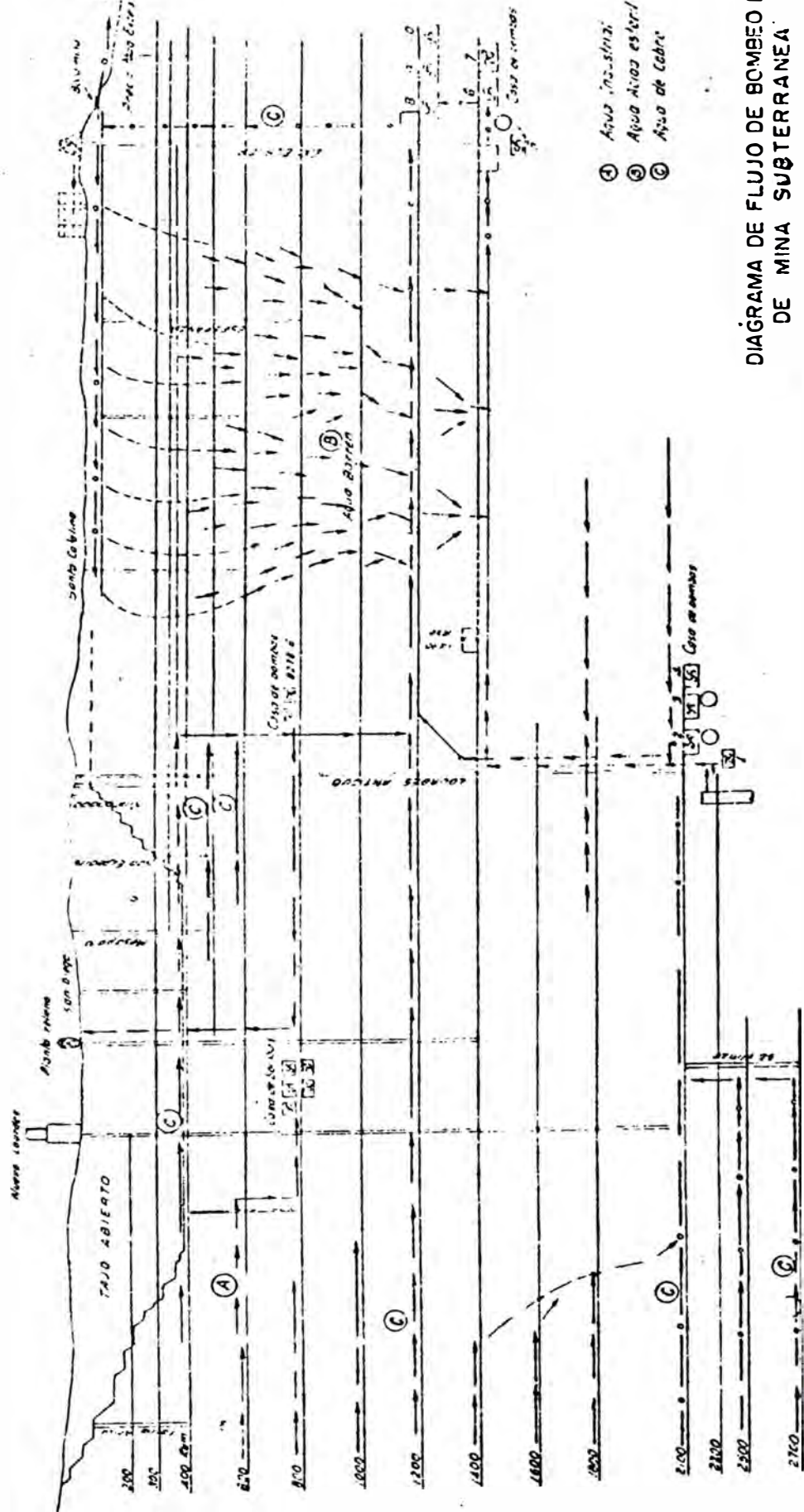
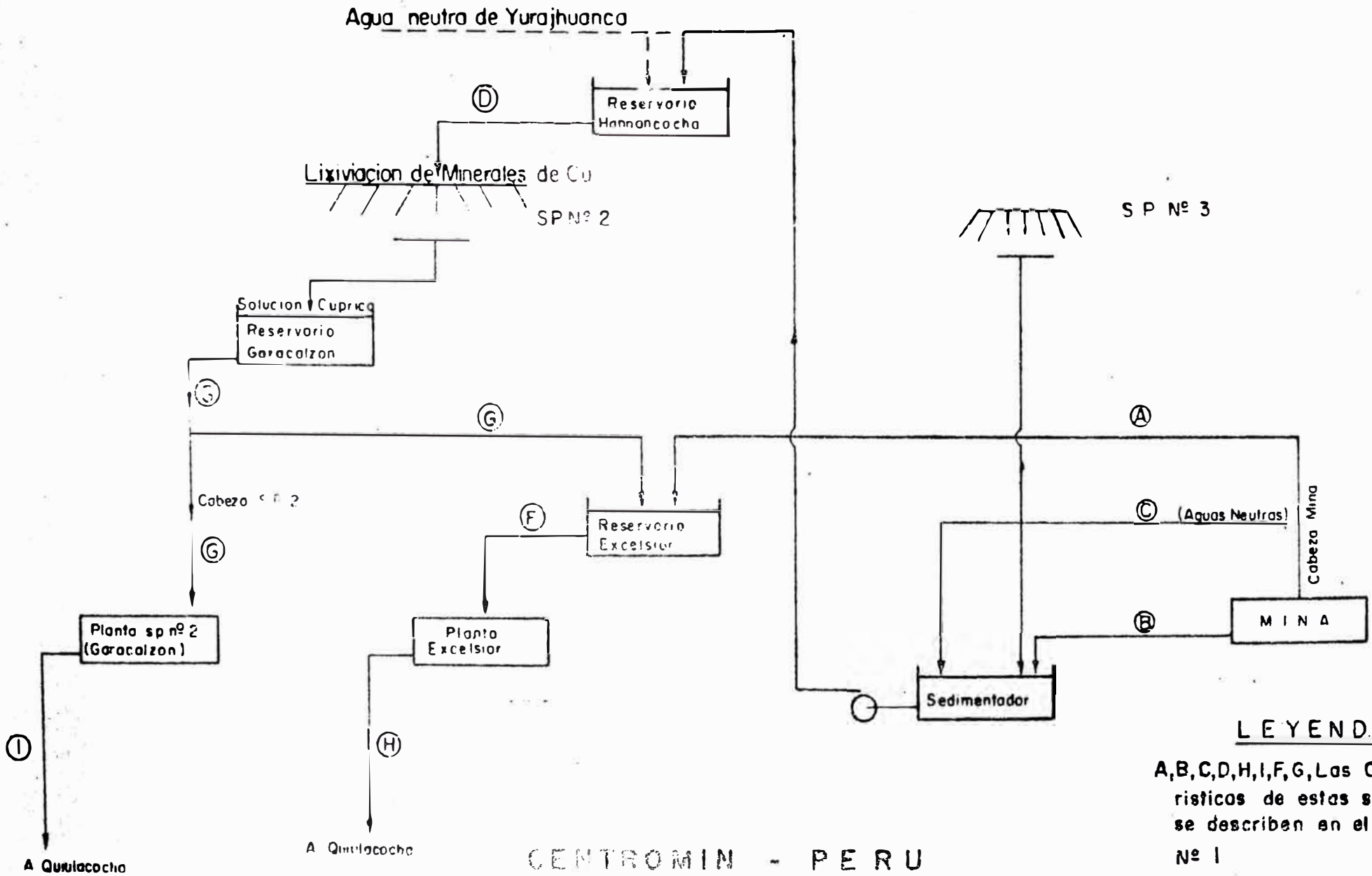


DIAGRAMA DE FLUJO DE BOMBEO DE AGUAS DE MINA SUBTERRANEA



CENTROMIN - PERU
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LIXIVIACION DE
LOS MINERALES DE PIRITA CON COBRE EN LAS PILAS
DE S.P. N° 2

Aguá Cuprífera de la lixiviación de desmontes del Tojo Abierto - Viene de la Estación de Bombeo de Gare Cotzon.

Aguá Cuprífera del Sub-Suelo viene de la Estación de Bombeo (1225 pies excavador)

Tanques Reservorios para aguá pregnada

3 Líneas PVC 8" Ø (por gravedad)

De Línea Ferrea para descarga de chatarra

Pista concretada para Grúa Mavil

Aguá a presión para lavar celdas

Área de Expansión
Bomba
TDH = 270 FT
GPM = 550

Flujo por Gravedad
Cotas

Cotas

Cotas bombeadas a la Cureña

Pozo de Sedimentación

Línea de Aguá Decantada

Celdas de Precipitación

Área de Secado (Gibson)

De Línea Ferrea para cargo de Productos

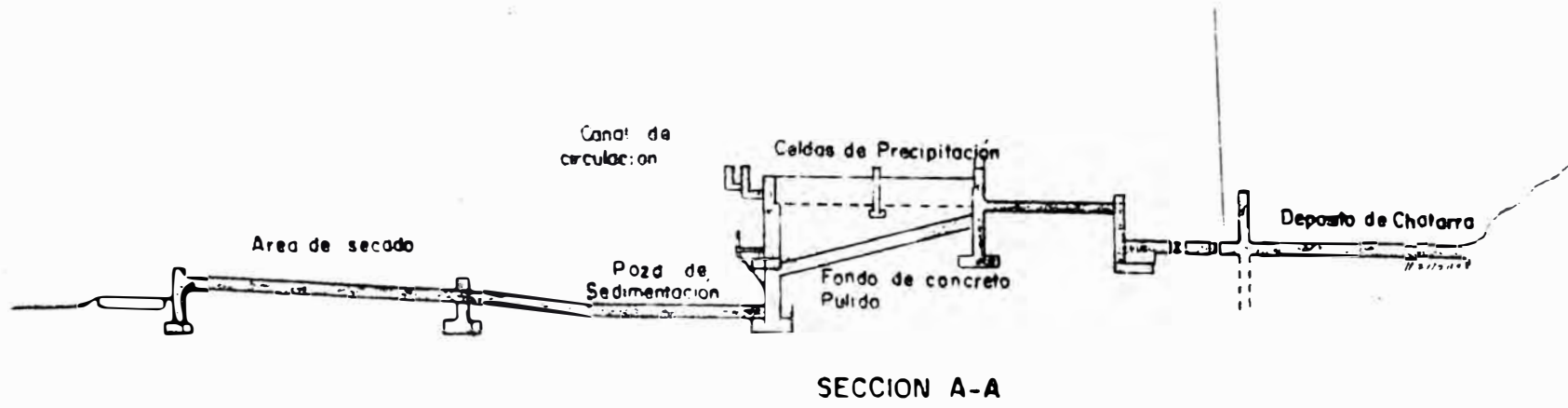
VISTA EN PLANTA

CENTROMIN - PERU

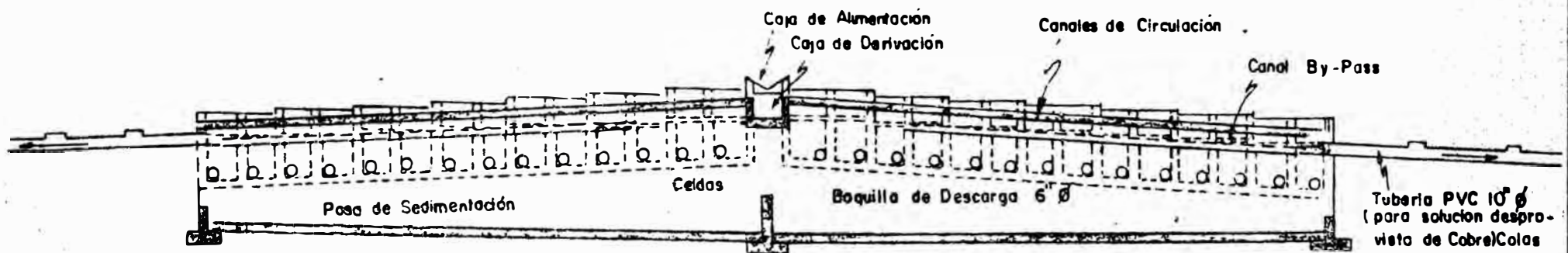
PLANTA DE PRECIPITACION DE COBRE "EXCELSIOR"

FIGURA No 5

3-27



SECCION A-A



SECCION C-C

CENTROMIN - PERU
PLANTA DE PRECIPITACION DE COBRE "EXCELSIOR"