

SECCIÓN TÉCNICA

Los yacimientos auríferos de Chile. Su explotación y el beneficio de sus minerales

POR

BERTH KOERTING

INTRODUCCION.

Desde épocas remotísimas, ha sido el oro la sustancia mas anhelada en el mundo.

La han cantado los poetas, según la inspiración del momento, sea como símbolo de lo mas noble y precioso, llave de acceso a las cimas de la vida; o bien cual funesto agente del mal, creador de crímenes. Los estadistas lo aprecian como la base de los sistemas monetarios, el sostén de las finanzas, el medidor de valores casi absoluto, único infalible en el mundo; sin embargo, ya los antiguos pobladores de la Esparta lo maldecían como instrumento pernicioso de corrupción y los comunistas de hoy como fuente de toda miseria humana.

¿Qué es, en realidad, esta sustancia dotada de tan misterioso poder, que los profetas anatematizaron cual la encarnación del Demonio y los profanos ansían como la felicidad misma, materializada?

El Ingeniero contesta secamente: es uno de los 72 elementos, perteneciente al grupo denominado "metales"; cuyo peso atómico es 196,7; densidad 19,3; de color amarillo; muy tenaz, el más dúctil de todos; con un alto punto de fusión (1035°C); inertísimo desde el punto de vista químico y soluble solo en contados reactivos, de los cuales el mercurio, el cloro y el cianuro de potasio (o de sodio), son los mas importantes.

¿Y en qué se funda la alta apreciación de que goza? Esencialmente *en su inercia química* que lo hace inatacable y le asegura así la eterna belleza de su brillo amarillento que nunca se apaga; *en sus notables propiedades físicas*, ya mencionadas, que permiten su fácil labrado y *en su rareza*.

¿En su rareza? Es interesante que nos detengamos aquí un momento para con-

siderar la forma y la frecuencia con que el oro se presenta generalmente, y en Chile en particular.

LOS YACIMIENTOS DEL ORO.

La Naturaleza, lejos de ser mezquina al otorgar sus tesoros a la Tierra, ha hecho un verdadero derroche del precioso metal dentro de la corteza terrestre. Aunque parezca paradójico es sin embargo efectivo que en muchas regiones aún bastante extensas, es difícil no encontrar oro. En vastos distritos de la Unión Sud Africana en Australia y en Chile en la Cordillera de la Costa, sustancias auríferas se hallan con asombrosa frecuencia. En estas regiones, y especialmente donde existe un ambiente geológico ácido, es decir, macizos de rocas, mantos, grietas rellenas, etc etc., en los cuales predomina el "cuarzo", allí se hallará siempre oro.

Por desgracia, esta fecundidad, considerada desde un punto de vista industrial no es mas que aparente, pues, aunque la materia aurífera se encuentra, por lo general, dilapidada con tan generosa profusión, en la mayoría de los casos está el oro tan diluido en la masa estéril que lo alberga, que el conjunto de roca, ganga y metal denominado corrientemente depósito o yacimiento aurífero, presenta una ley media muy menguada para poder extraer con algún márgen de utilidad el noble metal que encierra. Bajo estas condiciones, una masa de roca; una veta; un depósito de la naturaleza descrita, aunque contengan aisladamente mayores concentraciones auríferas, que entusiasmarán al aficionado, no tienen mas valor económico que si fueran de pura piedra, y este es el caso corriente.

Pero aquellos yacimientos, cuyo contenido aurífero se encuentra a mayor concentración y alcanzan así una importancia práctica, constituyendo "yacimientos explotables" de oro, en concepto industrial, esos son realmente muy escasos en la Tierra y, de consiguiente, su producto es rarísimo y costoso.

Los yacimientos auríferos de Chile se pueden clasificar en tres grupos principales: 1) Vetas; 2) Impregnaciones y 3) Lavaderos.

Entre todos, son los del primer grupo, "las Vetas", los de mayor importancia.

Deben las vetas su origen a trastornos tectónico-geológicos, probablemente relacionados con el so-levantamiento de la Cordillera, que produjeron líneas de fractura en la corteza terrestre. Las grietas así formadas se fueron rellenas, en el trascurso de inmensos períodos de tiempo, con materia metalífera depositada a enfriarse las soluciones termales que por ellas ascendían.

Yacen, por lo general, en un distrito, una multitud de vetas que se pueden agru-

par según el rumbo que marcan; y así, a las que demuestran cierto paralelismo se las comprende bajo la denominación de "sistema". Pues bien, si hay dos o mas sistemas, las de uno cortan las vetas del otro, y entonces, la fertilización recíproca que entre ellas se efectúa, produce muchas veces, a lo largo de las intersecciones de sus planos, hacinamientos metalíferos, singularizados por su cantidad y ley, que pueden llegar a constituir verdaderas "bonanzas".



Fig N.º 1

La mineralización, dentro de una veta, varía mucho y para llegar a establecer su valor industrial, se la debe someter a un amplio muestreo que arroja lo que se llama su ley media o común. A la vez, se mide en cada punto de muestreo el ancho o potencia (normalmente a las cajas) y se correlacionan leyes y anchos para los efectos del cálculo que ha de determinar cantidad y calidad media del cuerpo de la veta, dentro de la zona muestreada. Estos muestreos se efectúan sistemáticamente en las labores que atraviesan el yacimiento en dirección horizontal (frontones y galerías) y vertical (chiflones y chimeneas), dividiéndolos en macizos o campos de arranque de forma generalmente rectangular. Los promedios se obtienen de la manera si-

guiente: se calcula el producto de la ley por el ancho correspondiente a cada punto, y la suma de todos los productos se divide por la suma de los anchos. En efecto, sean $v_1, v_2, v_3 \dots \dots \dots v_n$ las leyes de las muestras tomadas en los puntos (1), (2), (3).....(n), y sean $p_1, p_2, p_3 \dots \dots \dots p_n$ los anchos correspondientes. Entonces, la ley media (V_m) de la línea o área muestreada es:

$$V_m = \frac{v_1 p_1 + v_2 p_2 + \dots \dots \dots v_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots \dots \dots p_n}$$

Los puntos (1), (2), (3)..... (n) deben tomarse a la misma distancia uno en pos de otro, distancia que en la práctica varía de 2 a 3 metros. La exactitud del muestreo crece en razón directa con el número de puntos de muestreo, e inversamente a la distancia que los separa. De todo ésto, aun el que no es adicto a los cálculos algebraicos puede deducir que la práctica, ingénuo, de apreciar la ley media de todo un extenso yacimiento según los resultados, de unas pocas muestras, aun caprichosamente tomadas, y sin método alguno, y formando el común por simple adición y división, debería llevarse a cabo únicamente en el día de los Inocentes, con todos los ritos del Cuento del Tío. A pesar de esto, es desgraciadamente, muy celebrada entre los aficionados y con frecuencia aceptada por el público.

El único procedimiento, justificado por su base científica, que proporciona un resultado muy próximo a la certeza, es aquel según el cual se relaciona la cifra arrojada por el cálculo indicado, con la localidad en que fué tomada la muestra. Apuntando, así la ley media de cada muestra y el ancho de la veta en el plano de la mina, sobre el punto de muestreo correspondiente, se obtiene un gráfico de distribución de valores, gráfico que permite evidenciar en seguida enormes, y a veces bruscas fluctuaciones.

Estudiando con atención estos planos de muestreo, se puede observar que aquellos puntos donde la ley es elevada se hallan agrupados en zonas bien marcadas en contraposición a los de baja ley, de tal modo que, uniendo por una línea los límites del aquéllas, en cada labor o galería, se establece con toda claridad que las zonas de valor tienen la forma de fajas orientadas casi según la línea de máxima pendiente y que constituyen verdaderas columnas metalizadas, dentro de las cuales únicamente se albergan las riquezas.

De esto, se deduce fácilmente que no es, pues, la longitud de corrida total de un yacimiento lo que debe impresionar al lector de un prospecto talvez demasiado brillante, como los que a veces, publican algunas Compañías Mineras en estado na-

ciente, sino que es preciso fijarse en la extensión, en corrida, de la o las columnas metalizadas que la veta posee, si es que las poseyera.

Y no solo en dirección de corrida, o sea, horizontalmente, varían el carácter y la ley del cuerpo de una veta: hay también notables *diferenciaciones en dirección vertical*. Proviene ellas, de alteraciones secundarias causadas, principalmente por las acciones químicas del agua y del aire atmosférico que se ejercen desde la superficie hacia abajo y por los efectos físicos que originan las variaciones de temperatura y de presión en las diferentes profundidades.

Columnas de Enriquecimiento

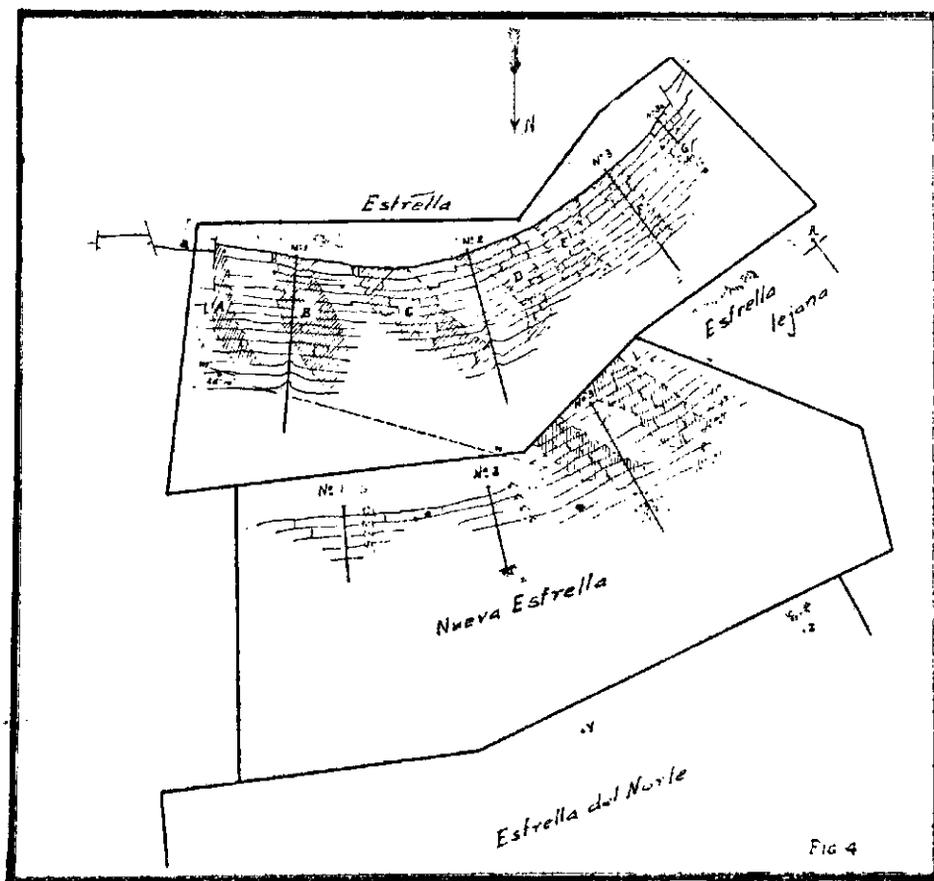


Fig. N.º 2

El relleno mineral que primitivamente se ha formado en las vetas auríferas de Chile, consiste, en la mayoría de los casos, de piritas en las cuales el precioso metal

se halla envuelto o disuelto, y en ganga cuarcítica. Como constituyentes accidentales se puede enumerar: plata, blenda y galena, calcopirita, también auríferas, y además calcita. Este tipo primitivo de relleno sufre una transformación en la superficie y zonas superiores por la oxidación de las piritas, proceso cuyo resultado final es óxido de fierro y oro libre. Ahora bien, como una parte considerable del óxido de fierro va siendo eliminada de la sección del yacimiento que sufre estas transformaciones, por la acción del agua, se produce, a causa de la disminución cuantitativa de la masa total, un aumento en la ley de oro de los residuos que restan del ataque atmosférico.

Por consiguiente, *la zona de oxidación* de una veta contendrá, dentro de las columnas metalizadas, minerales de leyes más subidas que los de las zonas más profundas. Si hay cobre, en la veta, en forma de calcopirita, se oxida ésta formando sulfato que se disuelve en las aguas que circulan y generalmente desaparece. Por eso es que, en las vetas auro-piritosas viciadas con cobre, la zona de oxidación, en caso de existir, puede hallarse libre de este peligro rojo. Y peligro es, como veremos a continuación, puesto que su presencia hace imposible o inconveniente la aplicación de uno de los más importantes procedimientos de beneficio.

Mientras se forma así la zona de oxidación, dentro del cuerpo auro-piritoso de la veta, la superficie sufre, a su vez, el ataque mecánico de una parte de las corrientes de agua, de cataratas o aún ventisqueros: agentes destructores que, junto con la descomposición química y las fluctuaciones bruscas de la temperatura, van arrasando la faz de la Tierra, y arrastrando las zonas superiores de las vetas.

Este fenómeno de destrucción lenta, que sin embargo alcanza inmensas proporciones, se denomina "erosión".

Esta, por una parte, y la *oxidación* del relleno auro-piritoso de las vetas, por otra, emprenden, entre sí, una carrera, por decirlo así. Si la rapidez de erosión es mayor que la con que la oxidación se pudiera propagar, dentro de la veta hacia la profundidad, ese agente destructor impide el proceso químico de oxidación, o se lleva en seguida los productos de ella a medida que se vayan formando.

En caso contrario, habrá una zona de oxidación cuya magnitud, como se vé, depende de la *rapidez relativa* con que avanza la oxidación hacia abajo, en *comparación a la rapidez de la erosión*.

• Esto explica el hecho de por qué algunas vetas auríferas presentan una zona oxidada extensa, en sentido vertical, de color café y con oro libre, mientras en otras es insignificante o, sencillamente, no existe y entonces, la mineralización auro-piritosa llega a la superficie misma.

El límite inferior de la zona de oxidación, no es, generalmente, una línea bien marcada, sino una zona de transición paulatina en la cual los óxidos metálicos van siendo reemplazados a medida que se profundizan, por los sulfuros, predominando las piritas de fierro primarios y secundarias. Estas últimas son el resultado de la precipitación, sobre aquellas, de las soluciones de sulfato de fierro, productos parciales de la oxidación que han logrado penetrar a mayor hondura. Estas soluciones de sulfato de fierro capaces de disolver el oro, han transportado, de este modo, el metal amarillo a esta zona piritosa precipitando en ella su preciosa carga. Es por esto que la zona piritosa que sigue inmediatamente a la oxidada, contiene oro nativo entre sus individuos piriticos, a veces en cantidades apreciables y hasta muy valiosas. Esta es la zona que se denomina de enriquecimiento secundario o de cementación. Su límite inferior es, por lo común, el nivel hidrostático de las aguas subterráneas, nivel bajo el cual sigue la zona primitiva.

Esta zona primitiva se subdivide, todavía, en una sección superior, en la que se pueden comprobar, por análisis metalográfico, indicios de alteración posterior, tales como presencia de piritas y calcopiritas secundarias, en escala microscópica, y por lo cual esta sección superior puede proporcionar todavía buenas leyes, y a profundidad extrema en otra sección inferior donde solo se encontrarán las piritas primitivas con leyes muy menguadas de oro o cobre.

En resumen, se puede establecer, que, las vetas auríferas de Chile, rendirán generalmente, y en mayoría de los casos, de sus columnas metalizadas, un producto mineral que, en su mayor parte, consiste de piritas auríferas de buenas leyes en oro, con ganga de cuarzo y fragmentos de roca encajadora. Minerales accesorios son: plata, nativa o en combinación; pirita de cobre, llamada calcopirita; galena, o sea sulfuro de plomo; y blenda, o sea sulfuro de zinc. En la ganga puede hallarse, aunque en menor escala, calcita.

En cambio, las zonas de oxidación, caso de existir, proporcionarán un mineral que consiste esencialmente de oro libre, con plata: óxido de fierro; ganga de cuarzo. Faltan pues, por lo general, en el producto oxidado, los minerales accesorios y especialmente las piritas de cobre.

Pues bien, en la región central de Chile y también en el Norte, por lo general no poseen las vetas, zonas de oxidación de extensión importante y entonces los minerales oxidados de oro que ellas suministren no desempeñarán un papel industrial, excepción hecha de casos aislados en el extremo norte del país.

Pasamos, ahora, a contemplar la segunda clase de yacimientos auríferos que en Chile existen, las "*impregnaciones*".

Hállanse en algunas partes, filones eruptivos de pórfido cuarcítico de anchos considerables y en otras, macizos de esta roca o de cuarcita, que se encuentran impregnados de materia auro-piritosa.

Las zonas mineralizadas, dentro de estos yacimientos, se hallan repartidas de la manera mas irregular y se pueden observar, a veces, fajas o manchas piritosas separadas por grandes extensiones de roca absolutamente estéril. Con frecuencia son grietillas y clivajes, dentro de la roca, que se encuentran rellenas con la materia auro-piritosa.

Si se deseara valorizar un yacimiento de esta naturaleza, se debe operar con mucho criterio. La equidistancia entre los puntos de muestreo es un postulado que se debe mantener con severidad, en especial tratándose de depósitos metalíferos que, como en el caso que se contempla, manifiesta nun alto grado de variabilidad en su mineralización.

Su absoluta necesidad es obvia, y se puede deducir del cálculo de probalidades. Sin embargo, por un razonamiento mas sencillo se logrará también comprender que, para llegar a una aceptable aproximación del valor medio de un cuerpo tan irregularmente mineralizado, es preciso eliminar el factor humano que interviene en la operación, esa inclinación de la mente y su preferencia indeliberada por lo valioso que brilla, y adoptar, entonces, un método automático rígido para la elección de los puntos en que se toman las muestras. Y es esto, precisamente, lo que se consigue con la imposición de la equidistancia entre los puntos de muestreo.

Obrando de otra manera, el criterio con que se juzgaría un yacimiento sería tan infantil como el de un niño que, por haber encontrado una bolita en un montón de basura, se figura que casi en su mayor parte consiste de tales juguetes, y a la cual su afición a ese juego llamó su atención y guió su manita.

En el caso único de que las muestras (tomadas en punto *equidistantes*, de una manera sistemática y reglamentaria sobre una longitud que corresponda a la extensión de la zona que se supone mineralizada) arrojasen una ley media industrialmente aceptable, solo entonces hay justificación en llamar a un depósito de esta naturaleza "*yacimiento aurífero*, en sentido económico.

Por lo demás, los yacimientos de este tipo, después de su formación, sufren los mismos efectos físicos y químicos que las vetas, y por consiguiente, pueden presentar, en circunstancias propicias, diferenciaciones verticales, idénticas a las que se observan en ellas.

No obstante, los depósitos de impregnación son por lo general tan variables y

debilmente mineralizados que el común no llega a ser aprovechable, razón por lo que no nos ocuparemos de esta clase de yacimientos.

Hay sin embargo, en el extremo Norte del país p. ej. en la región de Copiapó, al Norte, yacimientos de este tipo cuyas zonas de oxidación y cementación (o enriquecimiento secundario) ofrecen muy halagadoras expectativas de una mineralización industrialmente económica.

Puede observarse allí, el fenómeno de que las zonas inferiores primarias, son de bajas leyes, sin importancia alguna; en tanto, las de mas arriba, de oxidación y cementación, gracias a su posterior enriquecimiento pueden elevarse al nivel de la rentabilidad.

En general, eso será posible, como he indicado, solo en el extremo Norte, donde los agentes atmosféricos causantes de la oxidación, reaccionan con energía, mientras que la erosión ha sido mas débil e incapaz de aniquilar la obra de aquéllos.

Si hubieran de trabajarse esos yacimientos, suministrarían materia prima aurífera de dos categorías: 1) Mineral oxidado aurífero con óxido de fierro y ganga de cuarzo, sin cobre. 2) Mineral auro-piritoso, con leyes de plata y algo de cobre.

La tercera clase de los yacimientos de oro son los "lavaderos" o "aluviones". Se encuentran comunmente, en el fondo o en la parte inferior de las faldas de los valles, formando, a veces, verdaderas terrazas; yacen también en las riberas y en los lechos de los ríos y esteros. Pueden comprenderse en este tipo los depósitos de arenas auríferas de las orillas del mar.

Los "lavaderos" constan de conglomerados, ripios, mezclas de arena y rodados, todos los cuales representan simplemente el detritus resultante de la destrucción de rocas, filones eruptivos, macizos y vetas auríferas de las clases que ya he descrito. He mencionado, también, la manera cómo la erosión se produce y cómo las aguas arrastran los escombros de las zonas superiores de las vetas y macizos auríferos. Ellos constituyen la materia prima, de cuyo beneficio, lavado y concentración se hace cargo la Naturaleza misma, en el gran Laboratorio de los valles y los ríos, con sus poderosos agentes el viento y el agua, así como el tiempo.

Arrastrado a lo largo de los lechos de los ríos y esteros, el detritus primitivo va sufriendo la separación de la materia liviana de la de mayor peso. Compuesta aquella de arcillas, arenas, etc., de una gran parte de la materia estéril del detritus, que los rodados van moliendo, suspendida en las fuertes corrientes de agua llega

Lavaderos en Explotación



Fig. 3 a.

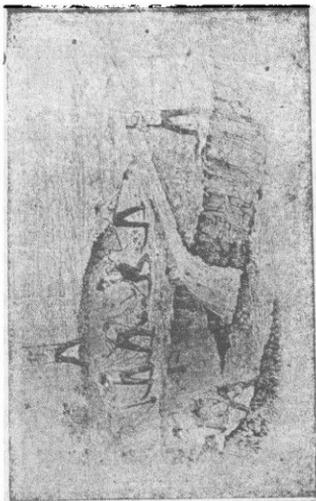


Fig. 3 b.

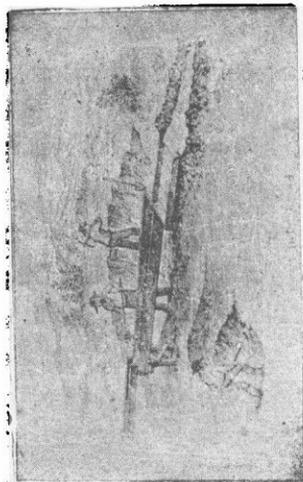


Fig. 3 c.



Fig. 3 d.

hasta el mar; las partes pesadas, que contienen esencialmente el oro nativo, las piritas auríferas y otros compuestos metálicos, como platino, magnetita, etc., en virtud de su mayor peso específico, tienden a hundirse en las corrientes y aprovechar cualquiera obstrucción, que se presente en el lecho del río, para depositarse y acumularse, constituyendo de ese modo aquellos hacinamientos auríferos que llevan la denominación de *lavaderos o aluviones*.

Se comprende, pues, que esta clase de yacimientos se compone de verdaderos concentrados auríferos; si bien es cierto la ley media del conjunto será siempre baja, de unos pocos gramos.

También es evidente que el yacimiento primitivo cuyo detritus suministraba la materia prima al lavadero, puede haber sido de muy baja ley e industrialmente inexplorable, aunque el lavadero que de su detritus concentrado resulta sea relativamente valioso.

La reducida ley que poseen los lavaderos, impone una explotación en grande escala, para alcanzar utilidades, y este postulado, a su vez, se traduce en la necesidad de que ellos sean capaces de proporcionar material en abundancia para abastecer una planta de beneficio de consideración.

Cantidad y ley de rípios auríferos, que albergue un lavadero, se determinan por un muestreo, extenso y metódico; practicado en el terreno mediante pozos que se profundizan o sondajes de manera de atravesar la capa de la superficie y el terreno de acarreo, con los rípios auríferos, hasta llegar a la roca basal firme, roca que en el lenguaje rústico se denomina "*circa*".

Los puntos de profundización o de sondaje, deben distribuirse de manera muy uniforme en toda el área del lavadero, tomando como base un plano topográfico que consigne todos los detalles.

En cada punto de muestreo, sobre el plano, se indican, en seguida, la ley media de la muestra que le corresponde y el ancho muestreado, deduciendo de todos ellos por cálculos análogos a los explicados anteriormente, la ley media y el ancho del conjunto. Correlacionando esto con la superficie del área muestreada se llega, en fin, a la cantidad de rípio aurífero que existe.

Desde la gran extensión que presenta comunmente esta clase de yacimientos, las operaciones de levantamiento topográfico y de muestreo demandan mucho tiempo y exigen la inversión de capitales de consideración, capitales, como es fácil comprender, suscritos en calidad de "Fonds perdus".

Y como el público no es muy inclinado a otorgar fondos en el carácter de perdidos, con frecuencia se empieza, desgraciadamente por adquirir costosa maquinaria

para la inmediata explotación y beneficio, sin estudios previos, de la índole señalada, y de consiguiente, sin base alguna. Este proceder precipitado no tiene justificación, a pesar de ser corriente. Es así, cómo, fracasado el primer intento de explotación, yacen hoy día, en muchos puntos de la costa del Pacífico, aún en Norte América, grandes maquinarias abandonadas, convirtiéndose lentamente en óxido de fierro, testigos elocuentes de la imprudencia de sus dueños, que despreciaron el único camino viable, áspero aunque seguro, de los procedimientos técnicos propiamente tales.

Ya que uno de los factores preponderantes es la ocurrencia de ripio aurífero en cantidades considerables y con leyes industriales no podemos augurar la existencia de lavaderos, de importancia económica, sino allí donde las fuerzas de la erosión hayan alcanzado gran intensidad como en las regiones en que caen frecuentes y copiosas lluvias, por ejemplo, el extremo Sur de Chile y las zonas tropicales de este Continente.

En el resto del territorio hay, sin duda, lavaderos que pueden ofrecer, en algunos puntos, leyes respetables; pero, sin embargo, no es probable que den base para una faena industrial; pues faltará el factor *cantidad*.

EXPLOTACION MINERA DE LOS YACIMIENTOS

Procederé a dar a conocer los métodos mas corrientes de explotación, para las dos clases de yacimientos auríferos que, en Chile, ofrecen posibilidades de alcance industrial.

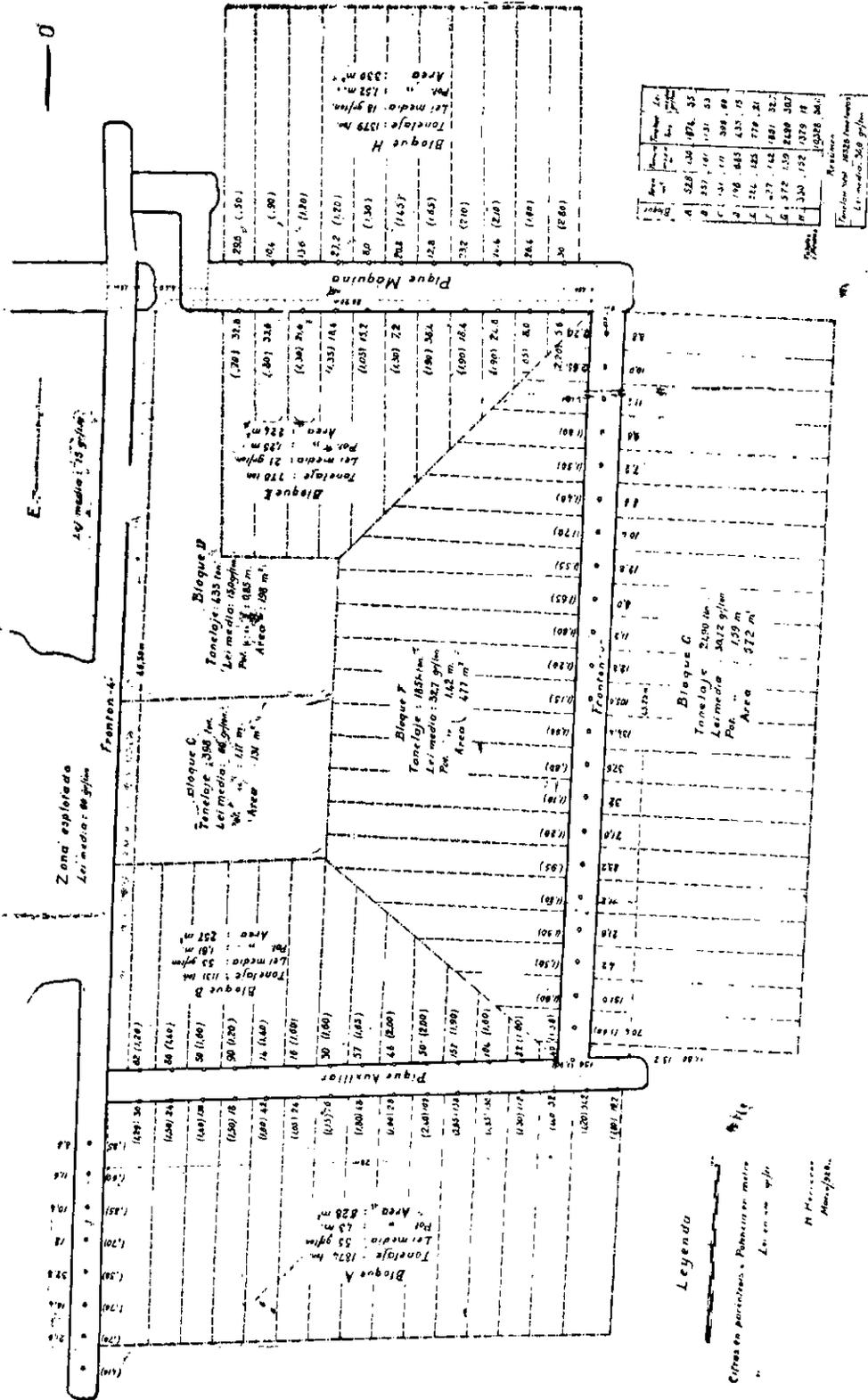
De lo anteriormente expuesto, queda establecido que, son las vetas auro-piritosas las que forman los yacimientos mas importantes para la producción del oro, en el país.

Su explotación minera no presenta, al Ingeniero, dificultad alguna. Según sea la configuración topográfica del lugar, se llegará desde la superficie terrestre, a la veta, por socavones o por piques verticales, éstos, como en natural, toda vez que el ángulo de inclinación de la veta sea superior a 60°, lo que, en realidad, sucederá casi sin excepción.

En seguida, dentro del cuerpo de la veta, se llevan frontones o galerías, en corrida, a distintos niveles, que se comunican, cada dos vecinos por chiflones o chimeneas. Así es como se forman los macizos de arranque, dentro de los cuales, a su

NUEVA CIA MINERA "LAS VACAS"

PLANO DE CUBICACION Y VALUACION DEL TONELAJE DESARROLLADO DEBAJO DEL FRONTON 4 (303 m)



Legenda

- Cifras en paréntesis = Ponderación en meta
- Lr. en un g/ton
- M. Ponderación
- Mineralización

Fig. N.º 4

debida oportunidad, se irán a efectuar las operaciones productivas. En estas galerías y chiflones se van practicando los trabajos de muestreo, a medida que avanzan, y los términos medios de la ley y ancho, determinados por los cálculos que ya se indicaron, se asignan al macizo que esas labores rodean. De este modo, se llega a es-

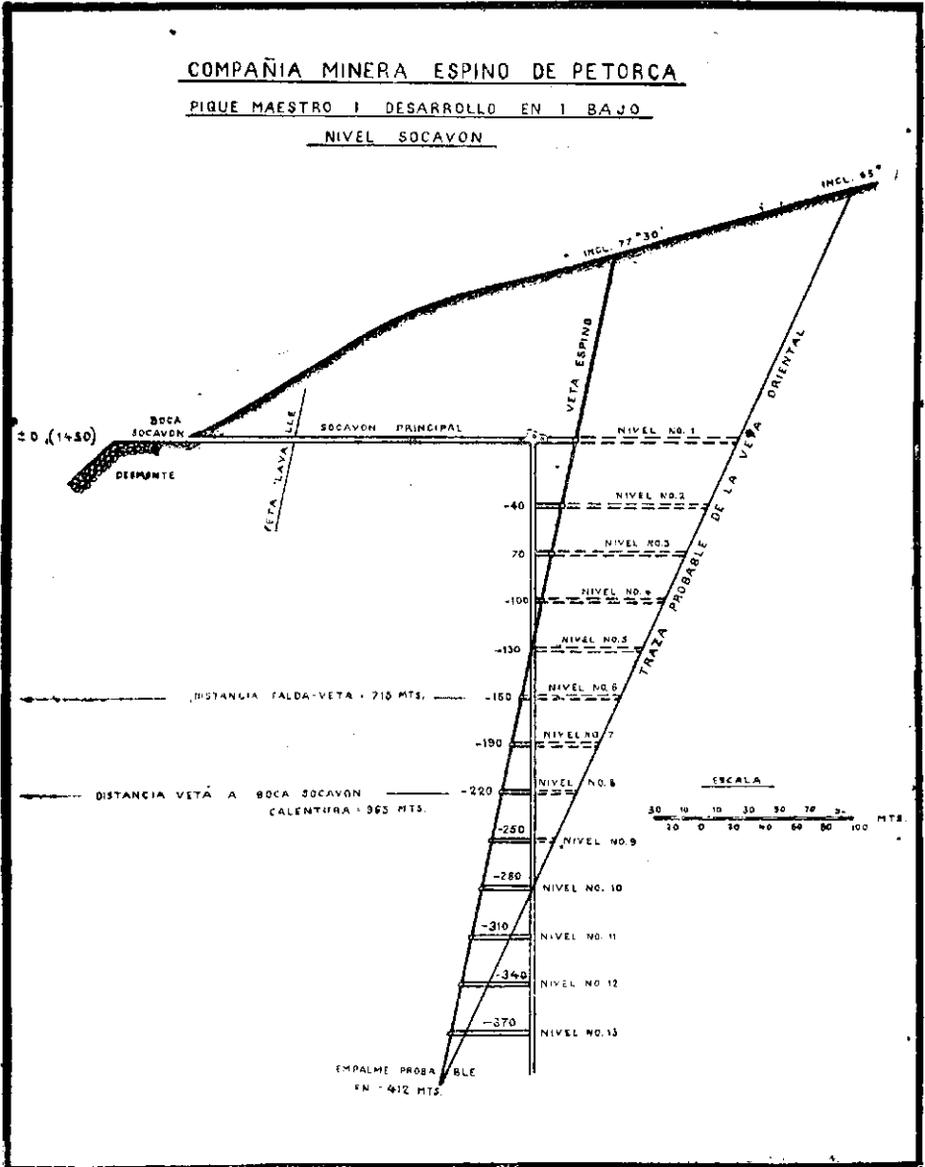


Fig. N.º 5 a.

tablecer el cubo y valor de cada macizo, y con ésto, de la entera zona desarrollada del yacimiento.

Para dar una ilustración, voy a citar el ejemplo ofrecido por el *muestreo* correspondiente a los niveles mas profundos de la mina "Las Vacas". Los datos marcados en cada punto del muestreo del plano, para el macizo entre los frontones N.º 4, y 5 se combinan (leyes y anchos) de la manera ya explicada, y arrojan un término medio de 36 gramos oro por tonelada de mineral. Aplicando el ancho medio del área del macizo, resulta, para él, un tonelaje correspondiente a esta ley media del 10.328 toneladas.

El desarrollo mismo de una mina, en vetas auro-piritosas del tipo que estamos contemplando, queda demostrado por el laboreo de las minas de la *Compañía Minera Espino de Petorca*. Este ejemplo tiene especial interés para la Industria Minera Nacional, puesto que los métodos llevados a la práctica, en las referidas minas,

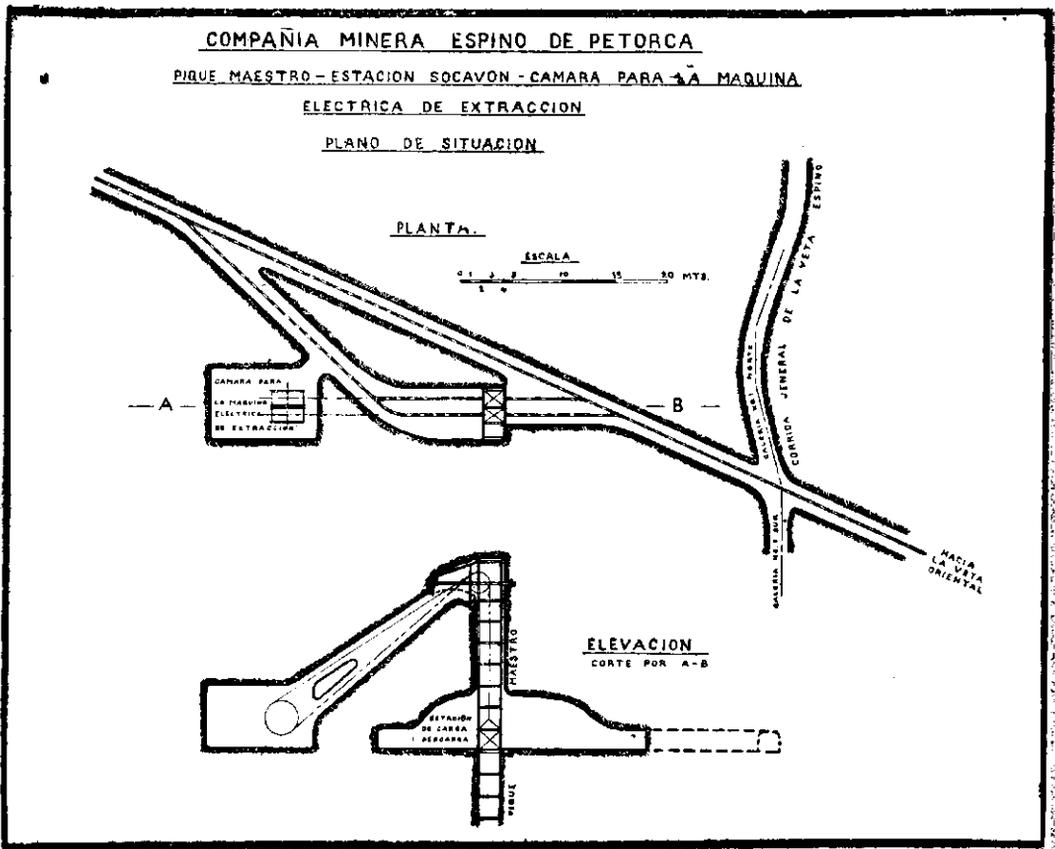


Fig. N.º 5 b.

han evolucionado de la cuidadosa adaptación de los principios prácticos y económicos de la Técnica moderna, a las condiciones locales, lo que podrá servir de modelo para cualquier caso análogo que se presente.

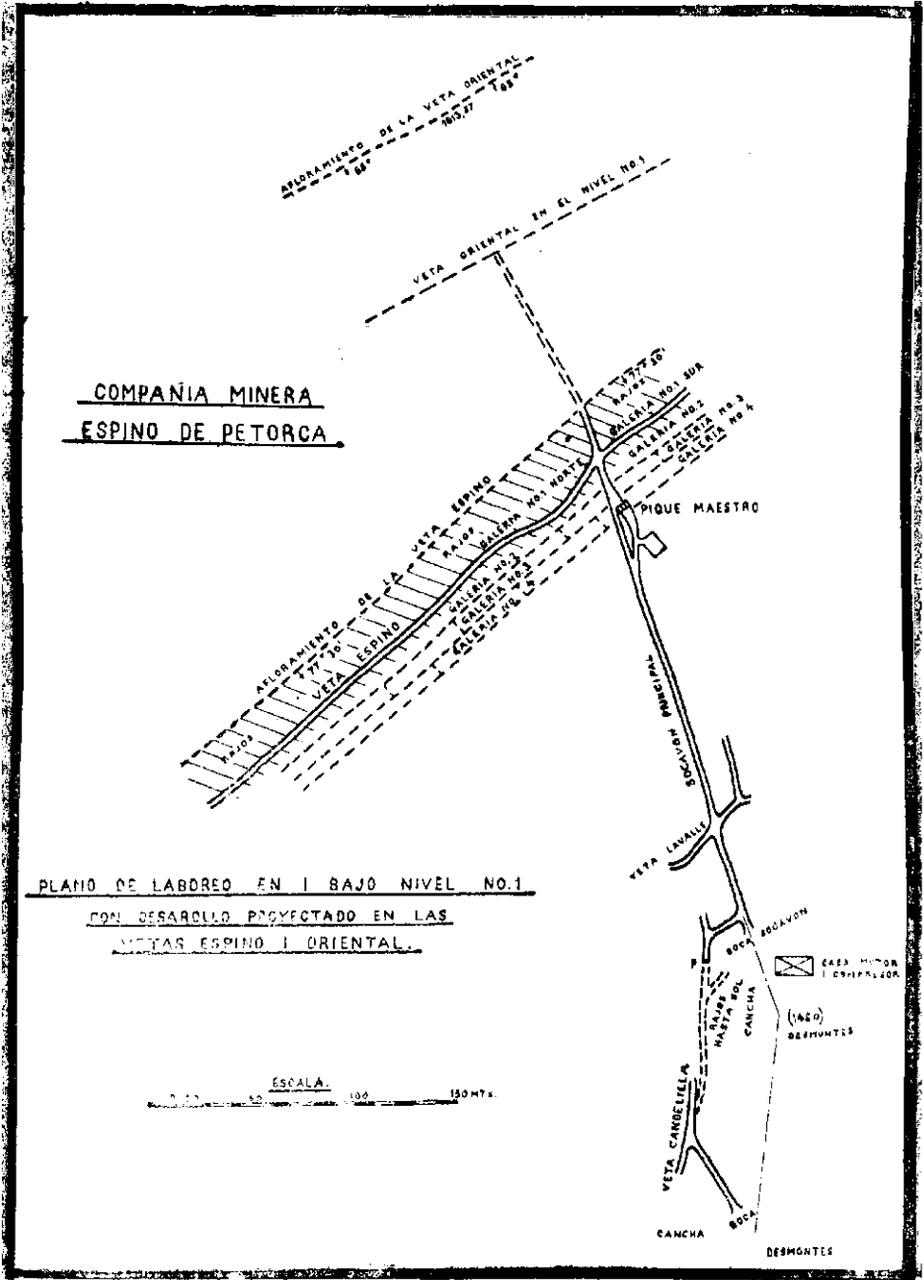


Fig. N.º 5 c.

El pique maestro destinado al desarrollo y a la explotación de las secciones llamadas Veta Espino y Veta Oriental de esas faenas, se ha profundizado a partir de un punto que queda al interior del Socavón Principal y a una distancia de la bocamina de más de 200 metros. El pique va internándose, en dirección vertical, a través de las zonas inferiores de la mina, y a los 40, 70, 100, etc., metros, se establecen los diferentes niveles, con los frontones correspondientes, y dentro de las citadas Vetas.

Como se puede observar en el plano vertical, el Pique no sale a la superficie, sino que su boca, con sus estaciones de carga y descarga, máquina elevadora, vías de comunicación, queda instalada dentro del cerro mismo, con acceso directo al Socavón Principal; y para ésto, ha sido necesario labrar, dentro de la roca viva, según proyecto premeditado, las cámaras necesarias para las máquinas y poleas, para el paso de los cables, etc., reduciendo así a un mínimo los gastos de instalación y el consumo de madera.

El segundo plano muestra la estación-boca, con todos sus anexos, en elevación y en proyección horizontal. El desarrollo de frontones en los diferentes niveles, conectados, entre sí, por chimeneas y chiflones, que definen los macizos para el arranque, se puede estudiar en el tercer plano, que es una reproducción del laboreo con el desarrollo proyectado, en proyección horizontal. Todo ésto, se halla dentro de una extensa columna metalizada, del tipo y carácter ya descritos.

Para la explotación de tales yacimientos se emplea el método de arranque denominado "*en rebaje*" o "*en bancos*", en el cual se comienza el disfrute desde el nivel superior y se avanza hacia abajo. Los bancos del frente de ataque siguen en línea diagonal, línea que debe mantenerse, en su avance, paralela a sí misma. El mineral arrancado va cayendo hacia abajo, al frontón del nivel inmediato inferior, se recibe en buzones convenientemente dispuestos en las chimeneas de acceso y se carga directamente, abriendo compuertas, en los carros que lo llevan afuera. Se evita así, por completo, el costoso trabajo manual con la pala, mortal enemigo de las utilidades.

Teniendo los bancos, dos caras libres, hacia las cuales podrá ejercer, con eficiencia, su poder desintegrante el explosivo cargado en los tiros, el arranque se efectúa con la mayor economía en explosivos y trabajos de perforación de tiros.

Los carros, cargados en los buzones, van, por vías férreas de 50 centímetros de trocha, tendidas en los frontones y estocadas, al pique; entran en la jaula-ascensor y suben al nivel del Socavón Principal por el que salen a la superficie.

De muy distinta manera se lleva a efecto la explotación de los lavaderos.

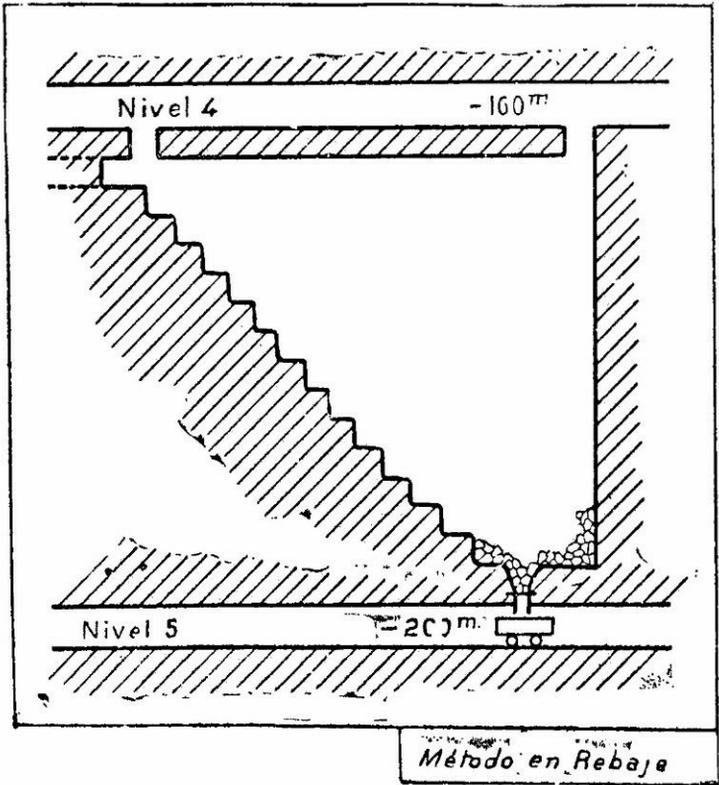


Fig. N.º 6

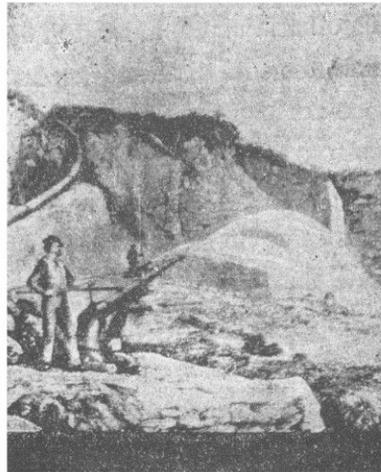


Fig. N.º 7 a.

Como el ripio o los aglomerados que contienen esta clase de yacimientos auríferos no forman una roca compacta y firme sino acumulaciones más o menos sueltas, su arranque puede efectuarse simplemente por palas, mecánicamente o a mano, según las condiciones que cada caso presente.

Las palas pueden ser substituidas por dragas. Si se trata de aluviones que yacen en el fondo de ríos navegables o de lagunas, la draga flota en el agua, pudiendo instalarse también a bordo, la planta misma de beneficio.

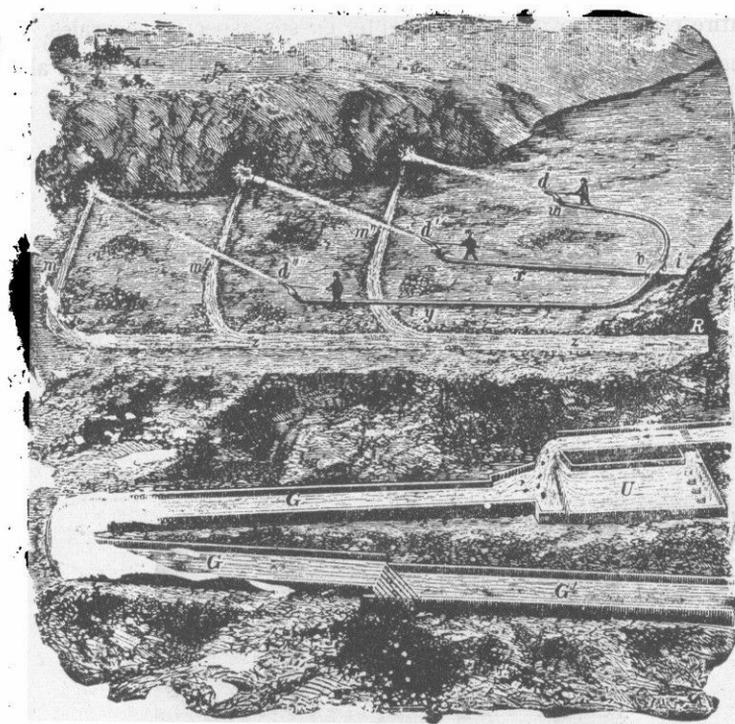


Fig. N.º 7 b.

En el caso de que la región se preste para hacer a un nivel mas alto que el sitio de las operaciones, un embalse de grandes cantidades de agua, la desintegración de los ripios puede llevarse a cabo por la acción de fuertes chorros de agua, a presión, lanzados por medio de grandes boquillas o pitones que se llaman "monitores". El agua entremezclandose con la materia aurífera forma, a la vez, la pulpa que inmediatamente puede entrar a los aparatos de beneficio.

METODO DE BENEFICIO METALURGICO DE LOS MINERALES DE ORO

La Metalurgia del Oro ofrece, para el beneficio de los minerales auríferos, dos categorías de procedimientos: la amalgamación y los métodos hidrometalúrgicos de lixiviación y precipitación. De entre todos, se emplean en la práctica Sud-Africana, en Australia, Norte y Centro América, ya un solo procedimiento, ya dos en combinación.

Discutiré estos métodos, primeramente, en sus aspectos generales, y me embarcaré luego, en una investigación sobre la posibilidad de aplicarlos al beneficio de minerales provenientes de los yacimientos aurífero de Chile.

I. AMALGAMACION.

“Amalgamar” es sinónimo con “disolver en mercurio”. Estas pocas palabras definen el principio fundamental del procedimiento que contemplamos. Los primitivos mineros de Sud-América utilizaron, para llevar a cabo este método, aparatos peculiares de su invención y, bien adaptados a las condiciones locales: “el chancador de piedra”: “el trapiche” y la “arrastra”.

Chancador de Piedra

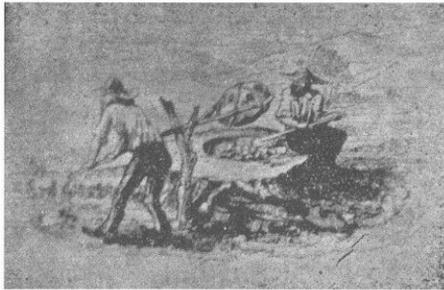


Fig. N.º 8 a.

De estos tres, los dos primeros se utilizaron para transformar las grandes colpas y los trozos de minerales a un producto de tamaño mas reducido y en la arrastra la molienda continuaba hasta obtener granos finísimos. Los antiguos ya agregaban agua y mercurio al mineral en esta misma arrastra, que servía, pues, a un do-

ble objeto reducir el producto: a un grano finísimo, de consistencia de polvo, mezclarlo íntimamente con el mercurio y obtener así la disolución del oro en el azogue,

Trapiche

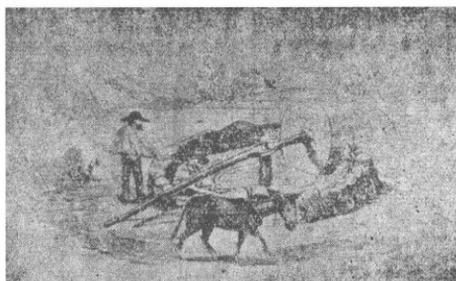


Fig. N.º 8 b.

La Técnica moderna ha reemplazado estos dispositivos rústicos por los aparatos de trituración y molienda denominados: chancadoras, bocartes o baterías de pisonos; cilindros, tubo-molinos; molinos de bola, etc., que sirven hoy en exclusivo, para la molienda gruesa y fina respectivamente. La amalgamación se efectúa por separado. En los aparatos aludidos, excepción hecha de las chancadoras, se muele en húmedo, o, con otras palabras, se mezcla el mineral chancado y triturado con agua, formando así una emulsión o pulpa, que atraviesa los molinos. El papel que el agua aquí desempeña es principalmente de agente transportador.

Arrastra

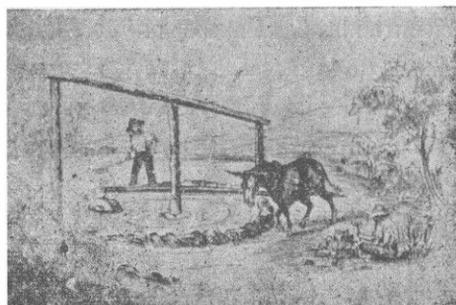


Fig. N.º 8 c.

Una vez obtenida una pulpa en que el constituyente sólido mineral, se encuentra en un estado suficientemente fino, para que el oro, que contiene, esté, por com-

pleto liberado de sus envolturas de materia estéril, se procede a efectuar la amalgamación.

Sea detrás de los bocartes, sea detrás de los molinos de fino o bien de ambos, se instalan los aparatos de amalgamación. Son mesas de madera cubiertas con planchas de cobre amalgamadas con mercurio.

Cajon metálico del bocarte

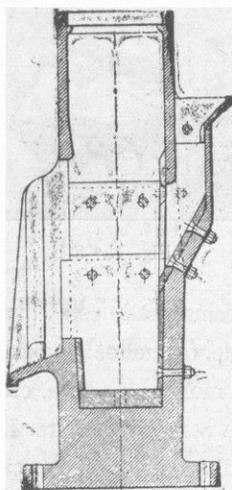


Fig. 9 a.

La pulpa, con el mineral molido en suspensión, atraviesa lentamente estas mesas en una corriente continua de poco espesor. Durante el trayecto, se hunden los constituyentes de mayor densidad (es decir, los mas pesados) dentro de la corriente.

Entre ellos, se encuentran las partículas de oro libre que al sumergirse se ponen en contacto con el mercurio de la placa de cobre y se amalgaman, es decir, se disuelven en este metal. De vez en cuando, se raspan las placas, cosechando una parte de la amalgama aurífera y reemplazando la parte eliminada con nuevas cantidades de azogue.

Parece muy sencillo este procedimiento, pero, el realidad no lo es. Las placas requieren un tratamiento muy cuidadoso para manterne su capacidad máxima de absorción para el oro. Cualquiera disminución en el rendimiento, aunque sea pasajera se traduce en pérdidas irrecuperables del noble metal en los desmontes. Solo con operarios amalgamadores de gran experiencia y muy concienzudos se podrá esperar un rendimiento aceptable, que en casos muy favorables y con minerales que se presten la amalgamación, posiblemente alcanzará un 80% de la ley media

en oro, determinada por ensaye. Esta cifra representa lo que he denominado *rendimiento técnico*. El que en realidad se obtiene, es—sin embargo—mucho mas reducido a causa del inevitable robo de amalgama observado en todas partes del mundo. Es tan fácil sacar amalgama rica en oro de las placas, aunque estén cubiertas con rejas de fierro o tejido de alambre que muy pronto se establece un servicio regular en este sentido, especialmente, en plantas ubicadas en regiones montañosas, lejos de las ciudades y, la experiencia demuestra que el porcentaje de la cantidad total

Bateria de 10 pisones con 2 mesas amalgamadoras

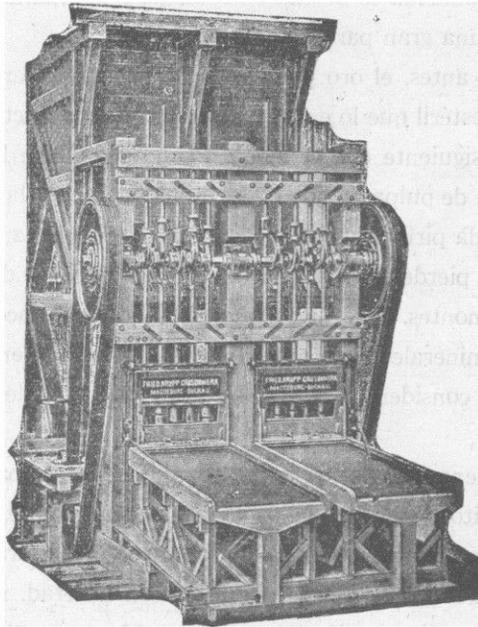


Fig. N.º 9 b.

de oro producido, que desaparece por este motivo, es mas grande en plantas pequeñas que en las de importancia y crece en proporción inversa con los sueldos que la faena paga a sus operarios. Así se puede reducir el rendimiento efectivo o económico en 10 o 20%, es decir, en vez de sacar del mineral—por amalgamación—el máximo de 80% se obtendrá solamente 70 a 60%, y eso, suponiendo que las placas funcionen en las mejores condiciones. Si a los aficionados o los así llamados “*prácticos*” queda abandonado el manejo del procedimiento, el rendimiento sufre nuevas reducciones hasta que esta “dictadura de la ignorancia” mata el resto del margen de las utilidades que haya subsistido todavía.

Esta es la causa por qué, especialmente faenas pequeñas, dirigidas por personas sin mayores conocimientos y con equipos rudimentarios están destinadas a fenecer, a menos que se beneficien minerales de tan elevadas leyes en oro que aún el máximo de abusos dejará todavía un mínimo de rendimiento para entusiasmar al feliz dueño de la mina y constituir la utilidad de su faena. Sin embargo, son pocos los casos como éstos y abundan—en cambio—los que han sido plenos fracasos, que se habrían podido evitar si el dueño de las faenas hubiese invitado a la experiencia y conocimientos profesionales a cooperar con su empuje industrial y espíritu emprendedor.

La amalgama producida se destila en retortas y al separar el oro que contiene se recupera a la vez una gran parte del azogue usado.

Como ya expuse antes, el oro para amalgamarse debe ser metálico y libre de cualquiera sustancia estéril que lo envuelve e impida su contacto con la placa amalgamadora y por consiguiente con el mercurio. Además debe hundirse para llegar a ella, en la corriente de pulpa, al atravesar la mesa. Así es claro que p. ej. oro encerrado en una película pirítica u oro tan fino que flote en vez de hundirse, escapa, sin amalgamarse y se pierde en la corriente de pulpa que sale de las mesas para ser desechada en los desmontes. Con un trabajo ineficiente y desacertado, y si se intentara el beneficio de minerales poco amenables a este tratamiento, las pérdidas podrán llegar a ser muy considerables, a saber, entre 60 y 70% del oro total contenido en el mineral.

Minales que llenan todos los requisitos enumerados, para poder aplicar la amalgamación con éxito, son los oxidados de la zona superior de las vetas; en cambio en minerales auro-piritosos la mayor parte del oro se encuentra encubierta con películas de fierro sulfurado y no puede ser puesto en libertad, ni con una molienda sumamente fina. En consecuencia, solo una pequeña parte de los valores, talvez unos 30 a 40% se podría extraer por amalgamación. En estos casos, el referido método no sirve y su aplicación a pesar de estos inconvenientes, sería solo viable, si se pudiera encontrar otro procedimiento que lo complemente y sea capaz de extraer el oro que ha quedado en los valiosos relaves del primer tratamiento.

Pasaré ahora a la segunda categoría de procedimientos de beneficio, que comprende los de lixiviación y precipitación. Entramos así al campo de la Hidrometalurgia del Oro.

II. CLORURACION.

En primer lugar, hay que mencionar la cloruración, cuyo programa es el de convertir el oro en un compuesto soluble, combinandolo con el cloro.

Los principios sobre los cuales se basa este procedimiento hidrometalúrgico son: la afinidad o tendencia a combinarse del oro con el cloro, la solubilidad del cloruro de oro en el agua y la facilidad con que el noble metal se deja separar de las soluciones de su cloruro, ya sea mediante el hidrógeno, ya por el sulfato de fierro o el carbón vegetal.

Las condiciones primordiales que ha de cumplir las materias primas auríferas, decisivas en la adopción del procedimiento y necesarias para la consecución del máximo rendimiento de beneficio, son las siguientes:

1) *Presencia* del oro, dentro de los constituyentes estériles, en partículas finísimas, libre y al estado metálico.

Según esto, la cloruración de piritas auríferas solo es procedente, después de una tuesta oxidante en hornos de reverbero que, destruyendo la envoltura piritosa, deja en libertad el metal.

2) *Ausencia* en los minerales de otros elementos afines al cloro, como la plata, cuyos cloruros envuelven las partículas del metal precioso, dificultan y hasta llegan a impedir su contacto con el halógeno.

Por esto, materias primas auríferas que contengan plata nativa o en aptitud de clorurarse, en proporciones apreciables, desde unos 100 gr. ton., no deben someterse al tratamiento de cloruración.

3) *Calidad* de la materia prima en cuanto a su ley en oro. La ley o proporción de metal debe dar seguridades de rendimiento económico ya que el método ocasiona gastos de relativa consideración, dada la naturaleza de los reactivos que se emplean. Una ley en oro, no menor de 120 gr. ton. puede ya considerarse como prácticamente aceptable, en general.

Según esto ¿habría que desechar la idea de beneficiar por cloruración minerales auríferos de leyes mas bajas? Los minerales auro-piritosos no alcanzan, tomando un común general, leyes medias superiores a 20 o 30 gr. ton. y, sin embargo, puede ser económico el empleo de este método de beneficio sometiéndolos previamente a un procedimiento de concentración adecuado.

Las dos principales operaciones: cloruración propiamente dicha y lixiviación pueden ejecutarse sucesiva o simultáneamente. En el primer caso el cloro se gene-

ra en una planta separada y se lo introduce después en una tina cargada con la materia aurífera por beneficiar, la que, una vez clorurada se lixivia con agua. El otro método consiste en provocar la formación de cloro, dentro de un tambor giratorio, en presencia de los minerales o concentrados crudos o tostados, y del agua.

Generador de Cloro

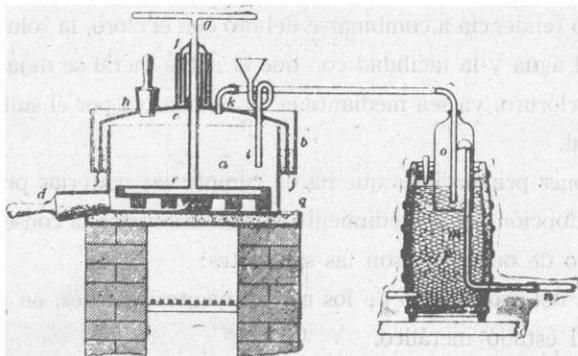


Fig. N.º 10 a.

Los reactivos usados para la producción del cloro, en el primer caso, son la sal gema, peróxido de manganeso y ácido sulfúrico. Si se adopta el segundo método basta hacer actuar el ácido sulfúrico sobre cloruro de cal. En ambos tratamientos se obtiene, al fin, una solución de cloruro de oro en agua, que se hace pasar por fil-

Tina de cloruración y Lixiviación

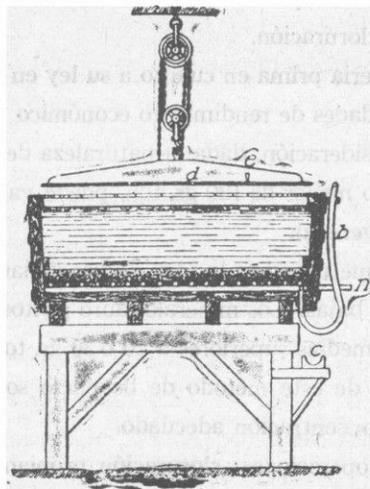
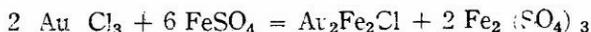


Fig. N.º 10 b.

tros para clarificarla y se entrega en seguida, a la planta destinada a separar el oro de su legía.

La precipitación del oro se logra mediante el empleo de alguno de los tres métodos siguientes:

a) Precipitación por el sulfato ferroso, según la reacción:



Este procedimiento es demoroso y anticuado.

b) Precipitación del oro por el carbón vegetal. La manera cómo obra el carbón sobre el cloruro de oro no ha sido aún suficientemente estudiada. El hecho es

Tambor de Cloruración y Lixiviación

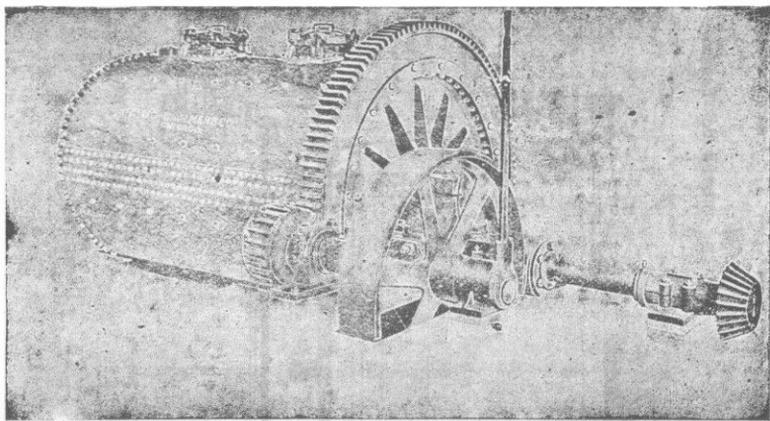


Fig. N.º 10 c.

que el oro se precipita dentro del carbón vegetal, al estado metálico y en forma de polvo fino. Se recoge, pues, el carbón, se lo seca y se quema en un horno de mufla. Las cenizas auríferas que se obtienen así, se lavan, secan y funden en crisoles, con soda y bórax, como reactivos escorificantes. El oro líquido se cuela en moldes.

Este sistema de precipitación y separación del oro, no ha sido adoptado, en la práctica, en mayor escala, por ser algo delicado y también demoroso.

El método que se emplea comunmente, es el de Precipitación por el hidrógeno sulfurado, en combinación con ácido sulfuroso.

La operación preliminar, de hacer pasar una corriente de anhídrido sulfuroso

Interior del Tambor

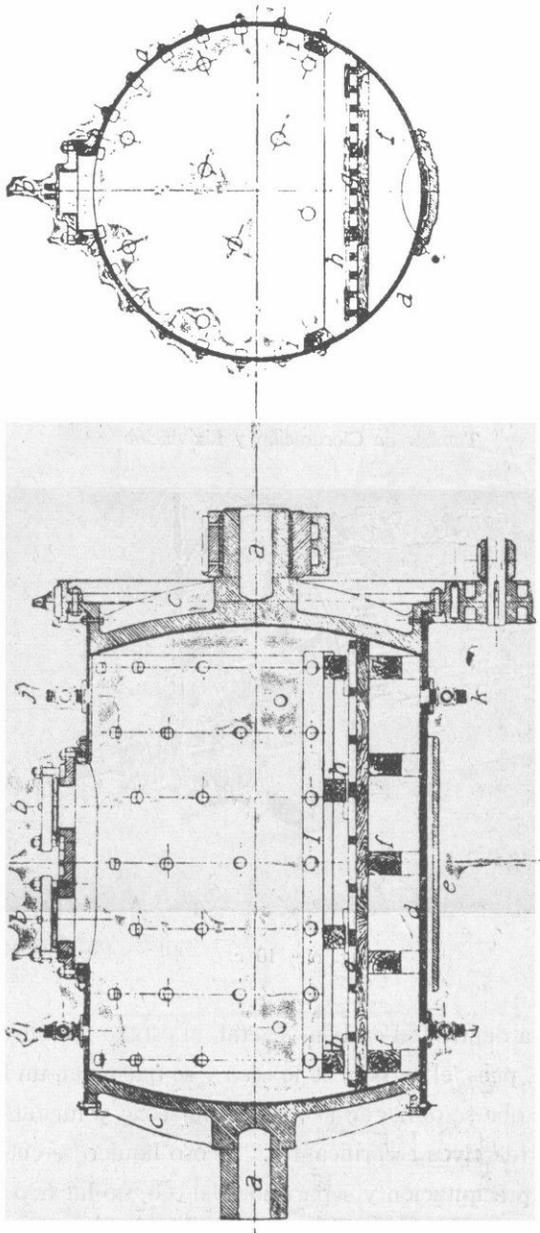


Fig. N.º 10 d.

a través de la solución de cloruro de oro tiene por objeto destruir el cloro que, con seguridad, aún contiene al estado libre, según la reacción:



Luego se deja entrar en la solución exenta de cloro, el hidrógeno sulfurado, provocando la precipitación del oro en forma de sulfuro de oro (insoluble en agua) según la reacción:



En cuanto se refiere a la producción de los reactivos, para el *anhidrido sulfuroso*, basta quemar azufre en una atmósfera de aire a presión, que, a la vez, sirve para conducir e inyectar el gas a través de la solución aurífera. El *hidrógeno sulfurado* se genera, en la práctica, tratando "piritas" o eje de cobre por el ácido sulfúrico diluido.

Planta de Precipitación

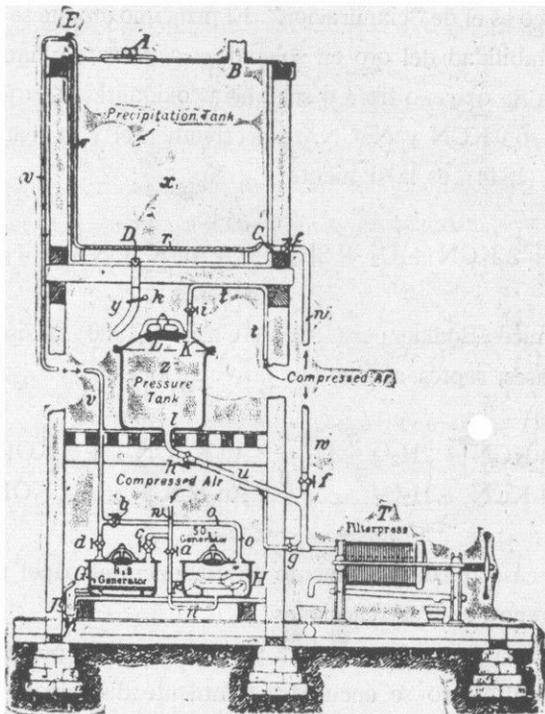


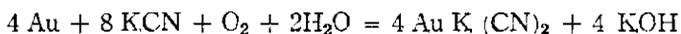
Fig. N.º 11

En la planta, que muestra el diapositivo se hallan reunidos todo los elementos necesarios a la precipitación, proceso que se verifica en la tina x. El anhídrido y el hidrógeno sulfurado, se desarrollan en los respectivos generadores h y g, y entran por los tubos v y r en la tina x. El precioso precipitado se deposita en el fondo de ella, y para dar salida por medio del aire comprimido a la solución desmetalizada, se tiene el tubo w. El precipitado se recoge y se echa en la caldera a presión. Tanto éste como la legía desmetalizada, se pasan por los filtros T, por separado, naturalmente.

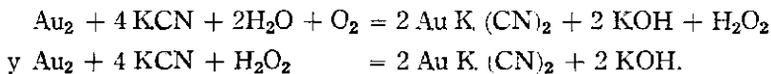
El líquido se abandona, el precipitado se somete a una tuesta en un horno de muffa, para destruir el azufre y liberar el oro, y se le funde en crisoles, con bórax, salitre y soda, como fundentes. El oro, que se obtiene, finalmente, se cuele en moldes, y las barras pueden alcanzar de 900 a 950 milésimos de fino.

III. CIANURACION.

El procedimiento hidrometalúrgico que mas importancia tiene en la producción del oro metálico es el de "cianuración". El principio en que se funda este procedimientos es lo solubilidad del oro en soluciones acuosas de cianuro de potasio o sodio, en presencia de oxígeno libre o sustancias oxidantes. Las fórmulas químicas de estos reactivos son KCN y NaCN, respectivamente, y la reacción que se verifica, según Elsner (1844), es la siguiente:



Según los químicos Bodlaender (1896) y Christy (1900) la disolución se efectúa en dos distintas fases, representadas por las ecuaciones:



En cualquier caso queda claramente en evidencia el papel trascendental que desempeña el oxígeno en estas reacciones.

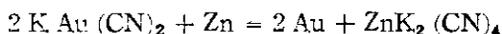
La materia prima que más se presta para el beneficio por este procedimiento es aquella en la cual el oro se encuentra finamente diseminado. Aun cuando las partículas de oro estuvieran envueltas por delgadas películas de óxidos o sulfuros metálicos, como ser de fierro, no por eso el método dejaría de ser aplicable. En

caso de hallarse presente plata metálica, ella se beneficia simultáneamente con su noble compañero. Y aún, en forma de cloruro (AgCl) y de sub-sulfuro (Ag_2S) se disuelve la plata en el cianuro, si bien con menor rapidez de reacción.

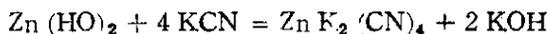
Gracias a la posibilidad de emplear el cianuro en soluciones acuosas extremadamente diluidas, sin que por eso se debilite su poder lixiviador, materias primas del oro, aún de reducidísimas leyes (3 a 4 gr. ton.), a no mediar adversas circunstancias, ofrecen márgen de utilidad sometidas a este tratamiento.

En cambio, se hace inaplicable el método, en los casos en que la materia prima, sean relaves o minerales crudos, contenga el oro en partículas gruesas o cantidades considerables de ácidos orgánicos, sales metálicas o metales comunes de una tensión disolvente superior a la del oro, sustancias que acaparan, por decirlo así, el cianuro. Un enemigo especialmente temible es el cobre. La experiencia ha demostrado que soluciones de cianuro de potasio, aún cuando se aplican muy diluidas, reaccionan sin embargo, enérgicamente con los sulfuros, óxidos y carbonatos de cobre, de manera que la presencia de uno de estos compuestos cupríferos, aún en cantidades muy menguadas, en la materia prima por beneficiar, basta para provocar el fracaso del procedimiento, por el excesivo e inútil consumo de reactivo que demandan.

Una vez lograda la disolución del oro en la legía de cianuro potásico o de sodio, se le separa de ella precipitándolo al estado metálico, por medio del zinc, elemento que entra a suplantar el metal noble en el cianuro auro-potásico que se había formado en virtud de su mas alta tensión disolvente. La reacción se verifica conforme a la siguiente ecuación:



Se observa invariablemente, durante la operación, el desarrollo de hidrógeno, que escapa de los baños de precipitación en pequeñas burbujas. La explicación probable de este fenómeno se puede deducir de las ecuaciones que siguen:



Conforme al fundamento químico así definido las operaciones metalúrgicas se van llevando a efecto en la práctica, debiéndose, en primer lugar, la evolución de

métodos tan perfectos a la gran industria aurífera del Transvaal, en la Unión de Sud-Africa.

La materia prima aurífera, finalmente molida ya sea en bocartes, o en molinos-cilindros, molinos de bolas, tubos-molinos, etc., y mezclada con agua, es conducida, elevada por grandes ruedas de capachos a estado de pulpa o emulsión, primeramente a aparatos adecuados llamados artesas de punto para separar las partículas mas gruesas y silicosas de los finos y arcillosos. El resultado de esta operación son dos productos: 1) una pulpa que contiene, en suspensión, las primeras denominadas "arenas" y 2) una pulpa con el producto caracterizado como "fango".

La primera es conducida a grandes tinas de palastros remachados o de madera abarcadas de zunchos, donde se recoge la materia sólida dándose inmediata salida al agua. Las arenas así colectadas, o más o menos secas se vacian en otra tina situada al lado o debajo de la primera. La agitación que experimentan durante el trasvasijamiento, que se efectúa generalmente con palas, les da oportunidad de ponerse en contacto del aire y almacenarlo en considerable cantidad dentro de la masa revuelta, aire que viene a servir después como reactivo oxidante, de acuerdo con la ecuación química desarrollada mas arriba. En seguida se vierte en la tina la solución de cianuro de potasio. La concentración de este disolvente varía, por lo general, entre 0,10 y 0,25% de KCN; pero la tendencia de la práctica moderna se inclina a disminuir en lo posible la concentración de estas legías, habiéndose llegado, en algunos casos, hasta 0.05%.

Cada materia prima exige un tratamiento individual y por ésto, hay que determinar, en cada caso, por una experimentación prolija y detenida, las condiciones que mayor rendimiento garanticen.

Las arenas se dejan en contacto con las soluciones durante unos días hasta 6 u 8, después de los cuales se descargan las legías auríferas, percolando a través de la masa arenosa y del filtro que la tina tiene en el fondo. El residuo arenoso se lava con agua y en seguida se arroja a los desmontes.

No se podrá seguir este tratamiento con el producto que hemos denominado "fango" y que, como se ha descrito, es una pulpa formada por el material arcilloso y las partículas mas finas. La razón es la impermeabilidad del fango por los líquidos, inconveniente que no presentan las arenas, y que imposibilita su percolación, es decir su filtración.

Hay, entonces, que llevar esta pulpa a una planta especial, compuesta de grandes estanques cilíndricos, de palastros remachados, de fondo cónico y cuyo borde superior abarca una canaleta de rebalse.

Se dejan asentar en ellos los fangos y el agua de la pulpa rebalsa por sus bordes a la canaleta. El resto del agua que ha quedado en los estanques se extrae por sifones móviles hasta su decantación completa.

Sobre el fango, que retiene siempre hasta un 40 a 50% de líquido, se vierte entonces la solución de cianuro potásico, en forma de fuertes chorros, que caen sobre ellos y forman nuevamente una pulpa, eso sí que esta vez con intervención del reactivo disolvente del metal precioso.

La pulpa cianurada se va retirando a través de un orificio de salida, en el vértice del fondo cónico, al que conecta una cañería por la cual se puede devolver, de una manera continua, la pulpa al borde superior del mismo estanque o a otro vecino. Así se la mantiene en constante agitación, haciéndole circular por medio de bombas centrífugas durante unas 8 horas. El oro se ha disuelto; la legía aurífera se retira por decantación, y los fangos después de soportar varios lavados con agua se los conduce, al estado de pulpa acuosa a los desmontes y se los arroja.

El agua que sale de los primeros lavados y que, en cada ciclo de operaciones, aumenta en ley de oro, se aprovecha para disolver las nuevas cantidades que sean necesarias de cianuro y utilizarla luego para la lixiviación de nuevas cargas de mineral aurífero. De esta manera no se pierde su valioso contenido, paulatinamente adquirido durante los lavados.

Las legías auríferas, así obtenidas, se clarifican a través de varios filtros y se almacenan, separadas según su procedencia y ley, en depósitos adecuados quedando listas para la precipitación del oro que contienen.

Esta operación se efectúa en aparatos que consisten de grandes canaletas o cajas oblongas construidas de madera enzunchada o de palastros remachados, que se instalan con un suave declive y que tabiques transversales dividen en varios compartimentos. Tales tabiques son de doble pared y están dispuestos de manera que la corriente de legía se vea obligada siempre a ascender dentro de los compartimentos, bajando cada vez entre las paredes dobles. Cerca del fondo de cada compartimento se coloca un paquete de virutas de zinc encima de una bandeja perforada y que se puede remover con comodidad gracias a dos manillas de que está provista.

El zinc se va disolviendo, naturalmente a medida que el oro se precipita por lo que es preciso tener cuidado de añadir continuamente nuevas virutas de precipitante.

Su consumo varía así, por lo general, entre 4 y 12 partes en peso por cada unidad de oro precipitado, pero puede aumentarse su acción precipitante enchapándolo con una película de plomo. Esta es una operación sencilla, pues basta sumergir

las virutas de zinc antes de cargarlas en las cajas en un depósito que contenga una solución al 10% de acetato de plomo.

La mayor energía desplegada por el precipitante es debida, evidentemente, a efectos electro-químicos, actuando el zinc y el plomo a modo de una pila eléctrica.

Así como en la lixiviación es el cobre un elemento indeseable, también en la precipitación del oro de las soluciones de cianuro su presencia es decididamente perjudicial. Especialmente, cuando se tratan soluciones que contienen el cianuro libre en reducida proporción, las virutas de zinc se cubren muy pronto con una película de cobre que se interpone, como obstáculo e impide la precipitación del oro.

Cajas de Precipitación por zinc

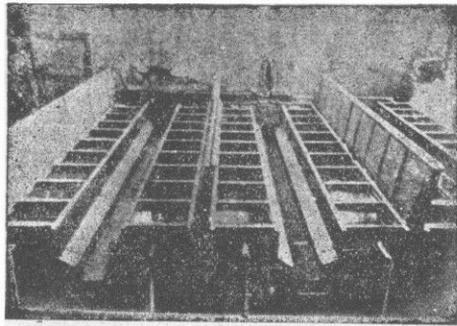


Fig. N.º 12

Ahora bien, si se quisiera subsanar este inconveniente por la costosa adición de mayores cantidades de cianuro, el cobre permanecería, en realidad, disuelto en las soluciones pero muy pronto ellas se saturarían de metal rojo y quedarían inútiles para reincorporarlas al ciclo de operaciones, como base de nuevas soluciones lixiviantes, de lavado, etc.

Se deduce pues, que también las consideraciones referentes a la precipitación, demuestran que el beneficio por cianuración es inaplicable para aquellos minerales con leyes apreciables de cobre.

Una o dos veces al mes, el oro es cosechado de las cajas de precipitación en forma de un fango negro, viciado con zinc metálico y compuestos de éste y otros metales.

Gran parte del zinc se elimina tratando el precipitado con ácido sulfúrico: el producto así obtenido es prensado para liberarlo del agua que encierra y en seguida se somete a una tuesta que destruye los restos de zinc y otras sustancias volátiles que contuviera. Finalmente se le funde con algunos fundentes escorificantes en

crisoles de plombagina, y el oro crudo se cuele en moldes que le dan la forma de lingotes.

Métodos de Beneficio por Concentración.—Resumiendo ahora, los principales factores que determinan o limitan la aplicación de todos estos procedimientos, se observará que la *amalgamación* exige minerales con oro libre, exento de cualquiera especie de envoltura, y de grano algo grueso; la *cloruración* alcanza su mayor éxito con minerales auríferos de leyes estremadamente elevadas y con la menor proporción de plata posible; y por fin, la *cianuración* que limita su campo de aplicación a materias primas del oro que contengan este valioso metal finamente diseminados y prácticamente exentos de la presencia de cobre o compuestos cupríferos.

Por otra parte, de la exposición hecha en el capítulo dedicado a los yacimientos del oro en Chile y a sus productos, se puede deducir que habrá que considerar dos clases de minerales auríferos, en el país, de los cuales la primera comprende los *minerales oxidados*, con oro libre y con plata; y la segunda los *minerales auro-píritosos*, que contienen la mayor parte del oro envuelto en películas piríticas, además plata y, por lo general, apreciables proporciones de cobre.

De estas dos categorías de minerales auríferos, los *oxidados* se prestan, evidentemente, para el tratamiento por *amalgamación* complementada por el de *cianuración*; pues, mientras por el primer método se benefician las partículas mas gruesas del oro contenido en el mineral, no escapa a la acción del cianuro el resto de metal noble finamente diseminado.

Sin embargo, los minerales *oxidados*, probablemente, jamás se encontrarán en Chile en hacinamientos suficientemente abundantes para alcanzar importancia industrial.

En cambio, este requisito de carácter cuantitativo, indispensable al tratarse de una materia prima industrial, es ampliamente satisfecho por la segunda categoría de minerales, que hemos denominado *auro-píritosos*, y sobre cuya existencia en grande escala en las zonas sulfúricas de las vetas auríferas de Chile, hay fundadas expectativas.

Ahora bien, haciendo un estudio sobre los métodos mas aptos para el beneficio de estos minerales, se llegará a la convicción clara de que la *amalgamación*, por sí sola, no es aplicable, puesto que el oro en esta clase de minerales no se halla, en su mayor parte al estado libre. Tampoco será adecuado el método por *cloruración*, aún en el carácter de operación complementaria, ya que la plata, que en leyes importantes se manifiesta en ellos, impide, como ya se ha explicado, la cloruración del

oro enteramente. Nos queda la cianuración, pero tal procedimiento no tendrá mejor suerte si se observa que la materia auri-piritosa contiene, por lo común, cantidades de cobre suficientes para impedir su marcha económica.

Por lo tanto, se llega a la evidencia de que, precisamente para la clase mas importante de minerales auríferos del país, no hay, entre los procedimientos de beneficio del oro propiamente dichos, ninguno que se pueda emplear aun con moderadas esperanzas de éxito. Y ésta es la causa por qué las tentativas por alcanzarlo han tenido fatalmente que fracasar y por que ha fenecido paulatinamente la industria aurífera de Chile.

Esta situación, hija de los escasos conocimientos y de la falta de experiencia en la materia de los que antes se ocupaban de la explotación de los yacimientos auríferos, ha sobrevivido hasta hoy. Esa aversión de los interesados a buscar la cooperación de verdaderos profesionales experimentados, por una parte, y la creación de numerosas empresas sin base industrial, de carácter especulativo, por otra, han precipitado la decadencia de este ramo de la actividad industrial del país.

Sin embargo, no se ve razón alguna que se oponga al resurgimiento de la explotación, metódica y razonada, de los yacimientos de oro de Chile, en forma que garantice el éxito. Muy por el contrario, se logrará este objeto, fácilmente, con la adopción de las líneas tácticas que se acaban de exponer, en la elección y apreciación cualitativa de los yacimientos que suministrarán la materia prima, y si se consigue resolver satisfactoriamente el problema de su beneficio, y este problema tiene, en realidad, una solución de los mas sencilla.

La materia prima que nos interesa estudiar son los minerales auro-piritosos. Estos se componen, como se ha indicado ya, de los constituyentes mineralógicos siguientes:

I. *Constituyentes metalíferos.*—a) *Principales:*

Oro y plata.

Piritas de fierro } con leyes
Piritas de cobre } de oro y plata

b) *Accesorios.*

Blenda }
Galena. } con oro y plata

II.—*Gangas.*c) *Principales.*

Cuarzo

Fragmentos de roca encajadora.

d) *Accesorios.*

Calcita.

De entre estos, solo necesitamos tomar en consideración los principales, es decir: Pirita de hierro, pirita de cobre, por una parte; y cuarzo y fragmentos de roca, por otra; siendo los demás cuantitativamente insignificantes.

Los pesos específicos de estos constituyentes son:

<i>Constituyentes metalíferos.</i>	Peso específico.
Oro nativo	19,3
Plata	10,5
Pirita de hierro con oro y plata	4,9 — 5,2
Pirita de cobre con oro y plata	4,1 — 4,3
 <i>Gangas.</i>	
Cuarzo	2,5 — 2,8
Fragmento de roca	2,6 — 2,7

La marcada diferencia entre los pesos específicos de los constituyentes metálicos y metalíferos, que son los que contienen la totalidad del oro y la plata; y las sustancias estériles, caracterizadas como ganga, hacen muy sencilla la eliminación de los estériles por los conocidos procedimientos de concentración hidro-gravitacional.

Un factor que favorece estas operaciones hidro-gravitacionales de concentración es la estructura de los minerales dentro del cuerpo del yacimiento, ya sea por la forma compacta que tienen los constituyentes metalíferos en la ganga o si se encuentran entrelazados, por la estructura en granos gruesos que presentan.

Son éstos, fenómenos particularmente propicios a los métodos de concentración hidro-gravitacional, puesto que no se precisa moler el mineral sino hasta un grano relativamente grueso, lo que se traduce, en primer lugar, en una molienda económica y en segundo término en las ventajas de operar después con una produc-

to fácil de trasportar sin pérdidas y que encuentra, siempre, la mejor acogida en todos los mercados del mundo.

En una serie de ensayos prácticos, efectuado a escala semi-industrial, y con mi personal intervención, en un importante establecimiento metalúrgico de Europa, se sometieron al tratamiento de concentración hidro-gravitacional *minerales auro-píritosos* de la composición anteriormente señalada y con las siguientes leyes:

Oro	27,4	gramos por tonelada	(A)
Plata	13,4	gramos por tonelada	(Ag)
Cobre	0,28%		(Cu)
Azufre	6,74%		(S)

y se obtuvieron de ellos, por concentración hidrogravitacional los siguientes promedios:

I	11,57%	concentrado grueso (clase A 5—2,5 mm.) (clase B 2,5—1 mm.)	Oro	207 gr ton.
			Plata	90,6 »
			Cobre	2,12 %
			Azufre	44,32 %
II	71,30%	Ripios para botar	Oro	1,8 gr ton.
			Plata	1,9 »
			Cobre	0,030 %
III	17,13%	Relaves por volver a tratar	Oro	4,2 gr ton.
			Plata	10,66 »
			Cobre	0,35%

Los relaves se someten a un nuevo tratamiento de concentración por flotación, lo que proporciona un lote adicional de concentrados, aunque esta vez de grano finísimo y que, aun cuando insignificante en cantidad, permite recuperar otros 8 a 9% del metal noble.

El oro beneficiado por la concentración N.º I equivale al 87,51% del oro total.

El oro beneficiado en la operación N.º III, representa de 7 a 9%.

Resulta, por lo tanto, una extracción total de 94,5 a 96,5% calculada respecto a la cantidad total de oro contenida en la materia prima.

Y esto es un resultado más satisfactorio, o por lo menos igual, a cuanto es posible esperar con el empleo de cualquier procedimiento metalúrgico en las mas favorables circunstancias.

Además, se benefician y aprovechan adoptando los métodos de concentración descritos, otras sustancias de valor, como ser el cobre y el azufre, que con los tratamientos hidrometalúrgicos hay que resignarse a perder.

Recapitulando pues, los minerales auro-piritosos de las vetas auríferas existentes en el país, son muy fáciles de beneficiar por los procedimientos mas sencillos de concentración y no es preciso entrar a contemplar inútilmente la aplicación de procedimientos mas complicados por vía húmeda, usados en otras partes, y para los cuales no se prestan, en manera alguna.

El producto que se obtiene por los citados métodos de concentración hidrogravitacional y por flotación adicional, son "concentrados" con un rendimiento que fluctúa entre 94 y 97%, son concentrados cuya ley en oro varía según las condiciones del caso entre 120 y 200 gramos por tonelada, con altas proporciones en plata y azufre y con 2% de cobre. Además, casi la totalidad del producto tiene la estructura de grano grueso.

Por fin, son estos concentrados, precisamente, los productos mas apreciados en las industrias metalúrgicas del cobre, en todos los países, en su carácter de fundentes sulfurantes. En efecto, a la vez que reactivo no solo contribuyen a las operaciones de producción de eje y cobre aportando el elemento indispensable en ellas: el azufre, que contienen hasta en un 40% y aún mas, sino constituyen también un verdadero agente tonificante, pues van elevando el valor del producto. Y esta valorización se verifica sin echar mano a procedimientos especiales, pues, el oro y la plata van incorporándose, automáticamente, en el eje de cobre, primero, y mas tarde, durante la conversión en convertidores, en el mismo cobre bruto.

El refinado electrolítico, por el cual se transforma el cobre bruto en cobre puro, refinado, deja separado el oro y la plata del metal rojo, también automáticamente, sin la exigencia de instalaciones y manipulaciones especiales, y por consiguiente sin nuevos gastos.

Según lo expuesto, se comprende desde luego, que para este producto, cualquiera que sea su cantidad, están abiertos los mercados de todo el mundo; y en efecto, se reciben ofertas muy ventajosas de todas las Casas Compradoras de materias primas metalíferas. Es conveniente llamar la atención de los productores de esta clase de materias primas, especialmente al hecho de que no dependen, en modo alguno, de los fundidores de cobre ni agentes comerciales locales, pues hay intenso interés por estos concentrados en Estados Unidos y Europa, y conviene pedir cotizaciones a todas partes para estudiar la mas ventajosa.

La materia prima aurífera la ofrece, pues, el generoso subsuelo de este país, en forma apta para el beneficio. Si el espíritu emprendedor de quien desea convertir la riqueza latente en efectiva, se esfuerza a obrar prudente y resueltamente, hará surgir la industria del oro en el país, incrementando notablemente los recursos de la nación.

Los fascinadores cuentos árabes de "Las Mil y una Noches" han entretenido nuestra infancia con sus narraciones de cerros y montañas que se abrían, presentando al feliz aventurero, inmensos tesoros con el solo recitar de una fórmula pirágica: ¡Sésamo, ábrete!

Por desgracia, la dureza y la índole prosaica de la época moderna ha relegado a las hadas tan cómodos sistemas.

Empero, también hoy día, como en aquellos tiempos remotos, las montañas y nuestros cerros, abrirán sus entrañas al noble pioner que haya aprendido la *nueva* fórmula mágica del trabajo y del estudio, y al conjuro del martillo y del barreno penetraran en sus profundidades, los socavones y galerías, únicos soberbios pórticos por donde se puede llegar a los grandes tesoros.

