

TECNOLOGIA

PROCESO DE CIANURACION:



UN SIGLO EN LA EXTRACCION DE ORO Y PLATA

El año 1989 señala el centenario de la primera aplicación comercial del proceso de cianuración, patentado en 1887 por John Steward Mac Arthur, R. Forrest y E. Forrest. La planta pionera para beneficiar minerales de oro mediante lixiviación con soluciones de cianuro alcalino y precipitación con láminas de zinc, se construyó en la mina Crown (Karangahake, Nueva Zelanda) en 1889 por J. Mc. Connell. El proceso de cianuración dio comienzo a la hidrometalurgia moderna y ha aportado la mayor parte del oro extraído por el hombre.

El propósito de este artículo es el de presentar brevemente antecedentes del proceso, sus desarrollos y avances, como también aspectos de su aplicación en Chile.

Alonso Arenas Fuentes
Académico Depto. Ingeniería
Química y Metalúrgica
Univ. del Norte - Antofagasta

Introducción

Probablemente, el oro fue el primer metal conocido y utilizado por el hombre por razones que derivan de sus propiedades:

- Presentación natural en estado nativo
- Color atractivo
- Lustre admirable
- Altamente dúctil y maleable
- Punto de fusión moderado
- Alta estabilidad química

Desde la antigüedad, el oro y la plata mantienen su tradicional utilidad y demanda como mercancías para la industria, artes e inversionistas. En 1987, la producción mundial de oro superó las 1.600 toneladas cuyo destino en orden decreciente es:

- Joyería
- Barras en stocks
- Acuñación de monedas
- Usos dentales
- Usos en electrónica
- Usos industriales y misceláneos.

En el caso de la plata la producción mundial en 1987 bordeó las 12.000 t. Cerca de un tercio es utilizada en fotografía y el resto en monedas, arte, electrónica-eléctricos y otros usos.

Los procesos gravitacionales, flotación, hidrometalúrgicos, electrolíticos y pirometalúrgicos son aplicados en la extracción y producción de oro y plata. La vía hidrometalúrgica ha desempeñado un rol de mayor significancia para la extracción del oro a partir de menas y desde 1887 se inicia la aplicación de un proceso hidrometalúrgico que revolucionó el campo de la metalurgia extractiva del oro y plata. Con fecha 19 de octubre de 1987, J.S. Mac Arthur, Robert y William Forrest registran la Pat. Brit. N° 14174 denominada "Proceso de obtención de oro y plata desde menas". Este proceso conocido comúnmente como cianuración

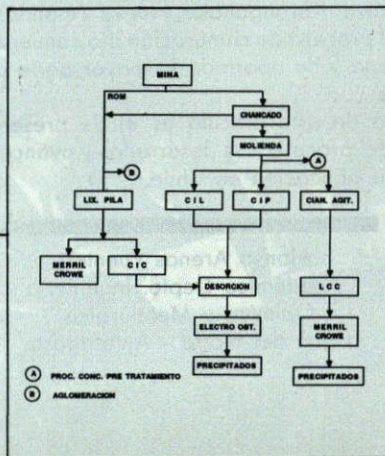
se considera junto con la fusión y la flotación una de las más importantes invenciones en la metalurgia extractiva(1).

El proceso de cianuración, es la técnica más importante que ha sido desarrollada para la extracción de este proceso extractivo hidrometalúrgico. A fines del siglo 19, dio comienzo a uno de los periodos de innovación más excitante y productivos que en beneficio de minerales se conoce. La cianuración logró introducir equipos y operaciones clásicas hoy día en beneficio de minerales, entre los cuales están: molino de bolas, clasificador Dorr, bombas diafragma, espesador Dorr, filtro continuo al vacío, etc.

Gracias a los avances logrados en las plantas de cianuración de pui-pas, se facilitó posteriormente la operación de las plantas de flotación espumante, invención de gran impacto en la industria extractiva.

La resonancia del proceso en la metalurgia extractiva del oro permitió incrementar notablemente la producción del metal en diversos distritos auríferos tales como: N. Zelandia, Australia, Sudáfrica, EE.UU., México. Permite optimizar el beneficio de menas, desplazando a procesos menos eficientes y de menor escala de operación (concentración gravitacional, amalgamación, clorinación).

Han transcurrido alrededor de 100 años desde que se aplicara en forma industrial la cianuración, considerándose un proceso pionero y clásico en hidrometalurgia actualmente. Su perduración en el tiempo, está basada en su acción química efectiva para la disolución de oro, potencial de los procesos hidrometalúrgicos para menas de baja ley e



innovaciones que han logrado perfeccionarlo metalúrgica y económicamente.

El proceso Merrill-Crowe, para la recuperación del oro cianurado desde las soluciones, ha sido tradicionalmente el otro factor esencial en su desarrollo y aplicación en la extracción hidrometalúrgica por cianuración del oro y plata. La precipitación del oro mediante zinc metálico desde soluciones cianuradas, patentada también por los inventores de la disolución, logró brindar un proceso de lixiviación y precipitación eficiente y económico.

El precio del oro ha influenciado su práctica y desarrollo. Notándose un largo período de quietud donde el metal amarillo estuvo a precio oficial fijo por los bancos centrales de los gobiernos.

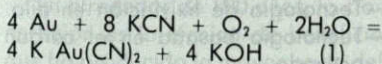
El alza lograda a partir de 1973 en el precio del metal, despegando del precio fijo, motivó la entrada en producción de nuevos yacimientos y la reactivación de antiguos. El carbón activado y la electroobtención se han introducido con éxito en numerosos proyectos como alternativa más óptima que la cementación con zinc, tradicionalmente practicada. La lixiviación convencional de pulpas, se ha mantenido para menas adecuadas, para las de baja ley y proyectos de vida corta la lixiviación en pila ha respondido con éxito las exigencias planteadas.

No hay duda, que la cianuración continuará innovándose a futuro con los aportes de la investigación y desarrollo con los objetivos de:

- Incrementar la velocidad de disolución.
- Optimizar la selectividad de lixiviación.
- Mejorar técnicas de regeneración y reciclós.
- Optimizar técnicas "in pulp".
- Minimizar problemas contaminación ambiental.
- Desarrollar conceptos alternativos.
- Beneficiar menos problemáticas.

1.1. Antecedentes Históricos

La solubilidad del oro metálico en soluciones acuosas de cianuro de potasio era ya conocido por los alquimistas del siglo XVIII (2). L. Elsner, químico alemán, en 1846 estableció que el oro y la plata se disolvían en una solución de KCN sólo en presencia de oxígeno, de acuerdo a la siguiente ecuación (reacción de Elsner).



Durante los siguientes 40 años, varios metalurgistas y científicos—including Faraday, quien ratificó el postulado de Elsner—experimentaron con KCN como lixivante del oro, teniendo ninguna o poca importancia práctica.

Fueron las experimentaciones de J.S. Mac Arthur y otros, las que determinaron la aplicabilidad comercial de utilizar soluciones cianuradas para lixiviar oro y plata desde sus minerales. En octubre de 1887, estos investigadores registran su primera patente en Inglaterra (British Patent 14174); ésta menciona la eficacia del KCN en soluciones débiles para disolver oro (3).

El proceso fue complementado por una segunda patente al año siguiente, que incluía el uso de bases, métodos de agregar el cianuro y el uso de zinc metálico laminar para la precipitación. Un año más tarde las invenciones de lixiviación y precipitación fueron patentadas en EE.UU. (U.S. Patent 403202) en mayo, 1889. El proceso de cianuración que revolucionó todos los conceptos de beneficios del oro fue desarrollado con un pobre financiamiento en un solitario laboratorio en Glasgow (Escocia) por el metalurgista J.S. Mac Arthur y los hermanos R.W. Forrest y W. Forrest, médicos de Glasgow.

En los años de su inadvertido



descubrimiento, Mac Arthur ejercía de jefe químico de una empresa extractiva de cobre, donde se experimentó intensivamente para recuperar oro mediante vía hidrometalúrgica utilizando cloro y bromo. Posteriormente, fue contratado por Cassel Gold Extraction Co. para optimizar la lixiviación de oro en residuos mediante cloro generado electroquímicamente, lo que no dio resultados favorables.

Trabajando asociado a los hermanos Forrest, experimentó con KCN, concluyendo que una solución diluida de cianuro disolvía el oro metálico desde una mena.

La primera planta de cianuración comercial fue instalada en el yacimiento Crown (Kaangahake, Nueva Zelanda) en 1889. Alfred James, representante de la compañía Mac Arthur-Forrest, introdujo la cianuración en Sudáfrica en 1890 en la mina Robinson. En EE.UU. las primeras plantas iniciaron sus operaciones en 1891, una en Mercur (Utah) y la otra en Calumet (California) (4).

El éxito del proceso se propagó rápidamente a otros distritos auríferos, en Australia, Canadá, México, Sudáfrica, adoptó con gran éxito la cianuración y las estadísticas registran en el período de 1890 a 1893 un incremento en la producción de oro de alrededor de 1000 veces.

La empresa Cassel Gold Extraction Co., que indirectamente motivó el descubrimiento de Mac Arthur, se transformó en la principal fabricante

El oro fue el primer metal conocido y utilizado por el hombre. Hoy continúa siendo uno de los minerales más codiciados.

de KCN en Inglaterra para abastecer la creciente demanda del reactivo.

Las primeras plantas de cianuración trataron arenas de relaves acumuladas de procesos de concentración gravitacional, mediante lixiviación en bateas con fondo filtrante. Posteriormente se introdujo la lixiviación en pulpa con agitación mecánica y luego agitación neumática en los populares tanques Pachuca o Brown. La precipitación, utilizaba filamentos u hojas de zinc metálico contactándose con la solución en reactores denominados "cajones de zinc". Ocasionalmente carbón vegetal fue usado como precipitante y en Sudáfrica precipitación electrolítica sobre cátodos de plomo (4).

1.2. Avances y Desarrollo

Los metalurgistas británicos pagaron la cianuración principalmente en Australia y Sudáfrica, pero fue en América donde se lograron notables avances y perfeccionamiento del proceso. En EE.UU., Canadá y México se generaron numerosas mejoras y prácticas que optimizaron la recuperación y permitieron aumentar la capacidad de tratamiento. Los mayores problemas en las plantas pioneras se presentaban en la lixiviación de lamas y la baja eficiencia en la precipitación con zinc en trozos.

En 1897, en la planta Marysville (Montana), el metalurgista C.W. Merrill optimizó la precipitación por el uso de zinc en polvo, la cual no fue generalmente adoptada. También en esos años ya se practicaba la adición de sales de plomo para incrementar la eficiencia de la precipitación. Diversas patentes se registraron como alternativas a la precipitación con zinc entre ellas: precipitación con carbón activado; aluminio

en polvo; sulfuro de sodio para precipitar cianuros de plata. Alrededor de 1899, L.H. Diehl introdujo el molino de tubo usado en la industria del cemento; con este equipo se aumentó la eficiencia y capacidad de la molienda fina (4).

J.V. Dorr (4), desempeñándose en la planta Deadwood (South Dakota), detectó las deficiencias de las operaciones batch y del manejo de pulpas. Estos problemas lo impulsaron a inventar el clasificador Dorr en 1904, el espesador continuo en 1905 y el agitador mixto Dorr en 1907. Con estos equipos, fue posible diseñar plantas de lixiviación global (all slime) con lavado continuo en contracorriente.

En 1907, E.L. Oliver optimiza la operación de filtración con la invención del filtro rotatorio al vacío. Permitiendo la filtración continua de pulpas y lavado, desplazando a los filtros tipo Moore y Butters.

Alrededor de 1914, se produce un notable avance en el perfeccionamiento de la precipitación con zinc en polvo por T.B. Crowe, quien aplicó vacío para remover el aire de las soluciones antes de contactarlas con zinc. Este logro, dio origen al proceso de precipitación universalmente conocido como Merrill-Crowe (5). El uso de zinc laminar fue desplazado en la mayoría de las plantas. La clarificación de soluciones, desaireación en torres de vacío (proceso Crowe), agregado de zinc en polvo evitando la reabsorción de oxígeno y, finalmente, la colección del precipitado y el exceso de zinc en filtros prensas o de mangas se estableció como la técnica convencional hasta el presente.

El KCN fue el cianuro empleado al comienzo del proceso pero más tarde empezó a ser reemplazado por NaCN, de menor costo que el potásico y con mayor pureza. En 1917, debido a la primera Guerra Mundial hubo problemas de abastecerse de cianuro blanco, lo que dio origen a fabricar el cianuro negro o "Aero", $\text{Ca}(\text{CN})_2$, de larga trayectoria en las plantas de cianuración.

El rápido y exitoso auge de la flotación espumante en el beneficio de sulfuros de cobre, zinc y plomo, también logró introducirse en la flotación de menas de oro y plata. En 1931, en la planta Mc Intyre, se colocaron celdas de flotación en el cir-

cuito de molienda-clasificación, iniciándose el proceso mixto: flotación-cianuración. En 1934, Chapman (6) en la Universidad de Arizona, revivió el interés de aplicar carbón activado para extraer el oro desde soluciones cianuradas. Experimentó agregando carbón directamente a la pulpa y luego flotando para obtener un concentrado del carbón cargado. Este fue probablemente el primer desarrollo del proceso carbón en pulpa (CIP).

En la década de 1940, el proceso CIP, fue empleado en Redhouse (Nevada). Sin embargo, no prosperó económicamente dado que el carbón cargado debía quemarse y fundir para recuperar el oro contenido. Alrededor de 1950, en los laboratorios del USBM de Reno (Nevada) se obtuvieron notables avances en la desorción del carbón cargado y la electroobtención de la solución concentrada. En 1952 (6), J.B. Zadra publica un informe, describiendo el empleo de una solución caliente de NaCN-NaOH como desorbente eficaz y la electroobtención continua.

Mejoras posteriores, incluyendo la reactivación del carbón permitieron aplicar en 1973 el proceso CIP-Zadra en la planta Lead (South Dakota) de Homestake Mining Co.

A mediados de la década de 1960, el USBM en sus laboratorios de Reno y Salt Lake City concentra esfuerzos en desarrollar y aplicar el concepto de lixiviación en pila para beneficiar menas de baja ley mediante cianuración. Esta técnica, ya

se aplicaba para lixiviar menas de cobre y uranio en varios distritos mineros. Fue así, que el desarrollo de esta técnica por los investigadores del USBM permitió aplicarse industrialmente en 1973 en Nevada por Cortez Gold Mines.

Desde la década del 70, la cianuración en pila ha entrado en forma masiva para beneficiar minerales de oro y plata, contándose actualmente con innumerables plantas de este tipo en el mundo y su número continúa en aumento. Su popularidad radica en la menor inversión, puesta en marcha rápida de la producción y permitir beneficiar menas de baja ley relativa.

En la última década, notables avances se han logrado en cinco áreas principales (7):

- Pretratamiento de menas refractarias y concentrados.
- Tecnología de lixiviación en pila.
- Tecnología basada en el carbón activado.
- Tratamiento de efluentes.
- Lixiviantes alternativos al cianuro.

Se estima en alrededor de 145 los proyectos activos en el mundo en 1988 para la minería del oro, representando una inversión total de cerca de US\$ 9.500 millones, la mayoría de ellos en Sudáfrica y EE.UU. La razón de este gran interés ha sido el precio alto y sostenido del oro en la última década —sobre US\$ 400 la onza—, las perspectivas optimistas futuras del mercado y los avances

TABLA 1: PLANTAS DE CIANURACION EN CHILE (1988)

Planta	Empresa	Cap. Nom. (TMPD)	Proceso
Choquelimpe	Cía. Min. Altiplano	3.000	L. Pila - M. Crowe
FLOMAX	Cía Min. Flomax	200	L. Agitación-M. Crowe
Flor	ISP Sondajes	100	L. Pila - CIC - EW
Cachinal	Cía. Min. Brass	300	L. Pila - M. Crowe
Guanaco	DICSA-COEXMIN	1.000	L. Pila - M. Crowe
Vaquillas	Cía. Min. Vaquillas	600	L. Pila - M. Crowe
Las Bombas	Cía. Min. Baritex	200	L. Pila - M. Crowe
San Rafael	Cía. Min. Las Animas	100	L. Pila - M. Crowe
El Hueso	Homestake Mining Co.	4.000	L. Pila - M. Crowe
El Indio (1)	Cía. Min. El Indio	2.800	L. Agitación-CIP-EW
Tambo (2)	Cía. Min. El Indio	500	L. Pila - CIC
Las Palmas	Las Palmas S.A.	150	L. Agitación-CIP-EW

(1) Cianura colas del circuito flotación.

(2) Desorción y electroobtención en planta El Indio.



La minería del oro en Chile comienza en tiempos muy remotos

tecnológicos tanto en la prospección como en las tecnologías de procesos (8).

En alrededor de 100 años, la cianuración es la técnica de beneficio que ha producido la mayor parte del oro extraído por el hombre y su cenenario la encuentra en su mayor apogeo y notablemente perfeccionada.

1.3. Cianuración en Chile

La minería del oro en Chile comienza en tiempos muy remotos. Durante la ocupación del territorio norte y central por los incas, la explotación de placeres, catas y laboreo de vetas alcanza cierta importancia. El historiador Diego de Rosales hizo una estimación del oro que los indígenas chilenos habrían pagado anualmente como tributo a los incas: ascendía a 645 kilogramos.

Con la llegada de Pedro de Valdivia, se inicia la influencia española en la minería del oro y en 1544 explota el lavadero de Marga-Marga. Esta faena promovió la inmigración de españoles a Chile.

Comenta Vicuña Mackenna (9), que en la conquista hacia el sur de Chile por Valdivia dio frutos por lavaderos, pero en carta del conquistador al emperador Carlos V le expresa las dificultades encontradas diciendo "por costarnos cada grano de oro cien gotas de sangre y docientos de sudor".

En el período de la colonia los

españoles introdujeron la amalgamación, la molienda en maraves y molinos de soleras o trapiches. El trapiche fue utilizado ampliamente en Chile logrando un gran desarrollo y perfeccionamiento en el Norte Chico (Copiapó, Andacollo, Illapel). Cabe destacar, que este molino mundialmente se conoce como molino chileno (Chilean mill) y tal vez sea el primer aporte tecnológico de exportación de Chile.

La primera planta hidrometalúrgica para beneficiar minerales de oro y plata inició operaciones a principios de este siglo en el distrito argentífero de Chayacollo (Iquique) empleando tuesta clorurante y lixiviación con hiposulfito de sodio (10). Alrededor de 1920, ya se practicaba la cianuración en los distritos auríferos de Alhué y Las Vacas manejadas por capitales ingleses y norteamericanos respectivamente. En dichas plantas se practicaba la cianuración acompañada de amalgamación y concentración gravitacional.

En el período de 1930 a 1956, operaron numerosas plantas de cianuración manejadas por empresas privadas y CACREMI (antecesora de ENAMI) entre éstas las principales eran:

- Caracoles (Antofagasta)
- Guanaco (Taltal)
- El Salado (Chañaral)
- Ojancos (Copiapó)
- Elisa de Bordos (Copiapó)
- Capote Aurífero (Freirina)
- Domeyko (Vallenar)
- Los Mantos (Punitaqui)
- Illapel (Illapel)
- El Bronce (Petorca)

La actividad aurífera lograda en el período de 1930 a 1956 fue notable alcanzando un promedio anual de 6 toneladas de un total de 155. El año 1940 se registra la mayor producción lograda en Chile siendo alrededor de 10 t. según Waisberg (11). Posterior a 1950, por diversos factores que se presentaron llevaron a declinar la minería aurífera en Chile y muchas plantas de cianuración se acondicionaron para beneficiar minerales de cobre por flotación y/o lixiviación ácida. En el período de 1960 a 1980 la producción de oro en Chile osciló anualmente entre 2 y 4 toneladas, siendo el oro como sub-producto de la minería del cobre el principal aportador (12).

En la década del 60, ya no se cianuraba en Chile y la minería del oro beneficiaba minerales por amalgamación, flotación y lavaderos. Desde 1970 se ha generado una notable revalorización del precio del oro provocado por desajustes monetarios y expectativas inflacionarias en la economía mundial. A fines de esa década se cotizaron precios promedios anuales de sobre US\$ 600 la onza de oro y US\$ 20 la onza de plata. Estas favorables expectativas provocaron un significativo incremento de la minería de los metales nobles en el mundo y Chile.

En 1978 en el distrito argentífero de Caracoles, la Cía Minera FLOMAX inicia la puesta en marcha de una planta de cianuración proyectada para 200 tpd. reiniciando la cianuración en Chile. En 1981, inicia sus operaciones la Cía. Min. El Indio con una planta con capacidad de 1240 tpd. Dicha planta, fue la primera en utilizar en Chile la tecnología del carbón activado para recuperar oro desde la cianuración de las colas de flotación mediante la tecnología CIP-EW.

La cianuración en pila (heap leaching) se inició comercialmente en Chile durante 1984 en la planta Vaquillas (II Región) con una capacidad nominal de tratamiento de 400

tpd para minerales de plata. Posteriormente iniciaron operaciones varias plantas cianuradoras para lixiviar en pila y en pulpa recuperando los metales nobles por las técnicas Merrill-Crowe o carbón activado. Durante 1987, la producción de oro en Chile superó la barrera de 19 t. estimándose que la producción no oficial de Chile debió bordear las 22 toneladas.

En el segundo semestre de 1988, las plantas de cianuración que operan en Chile considerando las de mayores capacidades se muestran en la Tabla 1.

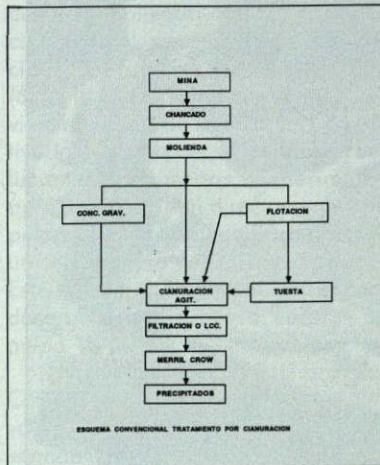
1.4. Proyectos en Chile

De acuerdo a los proyectos nuevos y expansiones programadas en la minería de los metales nobles en Chile, si se concretaran, hacia 1992 la producción chilena bordearía las 2 t. en oro y sobre 800 t/año de plata (13).

La mayoría de los proyectos de mayor envergadura se concentran en la III Región en la zona de Maricunga en la alta cordillera de Copiapó. Los proyectos más avanzados y más importantes se describen a continuación.

Proyecto Coipa

Esta controvertida pertenencia minera, que involucró a la transnacional Goldfields en un litigio con el Banco Nacional sobre la propiedad de las pertenencias, se soluciona



con la venta de los derechos a la Cía. Nacional de Minería y TVX Mining Co., ambas bajo el control del financista brasileño E. Batista. Las reservas probadas se estiman en fino contenido de 60 t. de oro y 7.500 t. de plata.

A principios de 1989 iniciará las operaciones una planta de cianuración por agitación y Merrill-Crowe con una capacidad nominal de 1.000 t/d. Se espera producir durante los dos primeros años que consulta la primera etapa 2 t/a. de oro y 140 t/a de plata. Posteriormente, se consulta incrementar la capacidad de tratamiento para casi cuadruplicar la producción.

Proyecto Marte

Este proyecto se está desarrollando por el consorcio Anglo American-Cominco, consulta iniciar la producción a fines de 1989. Las operaciones planeadas contemplan procesar 8.000 t/d mediante lixivia-

ción en pila, para producir 2,5 t/a de oro. Esta futura planta podría ser la de mayor capacidad de tratamiento por cianuración en Chile.

Proyecto San Cristóbal

Inversiones Mineras del Inca S.A. es la propietaria del yacimiento San Cristóbal; este depósito diseminado está situado en la II Región, 35 Km. al sur de Baquedano. El proyecto financiado por capitales canadienses, consulta explotación a rajo abierto y tratamiento por lixiviación en pila seguida de carbón en columna y electroobtención. La explotación se espera a una tasa de 4.000 t/d de mineral con una ley de alrededor de 1,6 g/t en oro.

Otros Proyectos

Numerosos depósitos de metales nobles están en etapa de estudio de evaluación, la mayoría de ellos en la III Región y que pertenecen a la Minera Anglo American Chile Ltda. Entre éstos, los más conocidos son: Esperanza, Lobo, Pantanillo, Pepa, Refugio, Santa Cecilia, Soledad, Caspiche, Cacique y Chimberos (14).

Referencias

- Hines, P. Before Flotation Froth-Flotation-Soth Anniversar y Volume, AIME N.Y., 1962.
- Habashi, F. Princ. of Extractive Metallurgy, Vol 2, Hydrometallurgy, Gordon and Breach, N. York, 1969.
- Habashi, F. One hundred years of cyanidation. CIM Bulletin, Vol. 80 N° 905, Sept. 1987 pp. 108-114.
- Dorr, J.V. Cyanidation and concentration of Gold and Silver Ores, McGraw-Hill, N. York, 1936.
- Adamson, R. Gold Metallurgy in South Africa. Chambers of Mines, Cape Town, 1972.
- Potter, G. Some developments in gold and silver metallurgy. Extraction Met. 81, IMM, London 1981, pp. 128-136.
- Wall, N.C. Gold Beneficiation, Mining Magazine, Vol. 156, N° 5, May 1987, pp. 393-401.
- Ugarte, G. Avances recientes en la Met. Ext. del Oro y Plata, Min, Chilena N° 85, Mayo 1988, pp. 27-41.
- Vicuña, B. La Edad del Oro en Chile. Edit. Fco. de Aguirre, Bs. Aires, 1968.
- Arenas, A. Hidrometalurgia del Oro y Plata, Univ. del Norte, 1984.
- Waisberg, R. La Minería del Oro en Chile, Rev. Minerales, 1958.
- Llaumet, C. Antecedentes de la Minería del Oro en Chile. Rev. Minerales Vol. 35, N° 150, 1980, pp. 9-20.
- Anónimo. La Minería de los Metales Nobles Consolidada su Desarrollo Min. Chilena, N° 84, Abril 1988, pp. 41-47.
- Anonime. Chile's Gold Expansion, Mining Journal, May 1988.