



Gordon Chiu Building J01
Department of Chemical Engineering
Maze Crescent
University of Sydney NSW 2006
Australia

Intec Hellyer Metals Pty Ltd

ABN 27 104 931 768

Telephone: +612-9351-6741
Facsimile: +612-9351-7180
Email: mail@intec.com.au
Website: www.intec.com.au

El Proceso de Oro Intec (IGP)

1. Introducción

El Proceso de Oro Intec (IGP) ha sido desarrollado como una alternativa basada en haluros para la recuperación de oro de los depósitos de sulfuro refractarios. El tratamiento de tales depósitos es generalmente por medio de flotación del mineral molido para producir un concentrado, seguido por una etapa de pre-tratamiento para oxidar los minerales de sulfuro, terminando con la extracción del oro del residuo de oxidación utilizando cianuro.

Las opciones comercialmente disponibles para la etapa de pre-tratamiento incluyen tostado, oxidación a presión (POx) y oxidación biológica (BiOx). El IGP se diferencia de las opciones hidrometalúrgicas a presión y biológica en que se usa un medio de haluro en lugar de un medio de sulfato. El oro es insoluble en sulfato, mientras que los haluros, como el cianuro, forman complejos fuertes con el oro para facilitar su disolución y subsecuente recuperación por adsorción en carbón activado. Los haluros son ligamentos más débiles que el cianuro, requiriendo un ambiente ácido ($\text{pH} < 2$) y una temperatura y potencial (Eh) de solución más altos para alcanzar las mismas eficiencias de extracción.

En el tratamiento de sulfuros refractarios, la utilización de un medio de haluro permite que la oxidación del sulfuro se lleve a cabo simultáneamente con la disolución del oro. Una vez la solución cargada con oro es separada de la mezcla del mineral oxidado, el oro disuelto puede ser recuperado por adsorción en carbón activado, el cual es seguidamente eluído con cianuro para finalmente recuperar el metal de oro por electro-deposición.

Por lo tanto el IGP se diferencia de las prácticas comerciales actuales donde el oro es extraído del residuo de oxidación utilizando cianuro, necesitando un circuito separado dedicado a la lixiviación con el requerimiento de costo para la destrucción del cianuro residual.

La Tabla 1 muestra el IGP puesto en contexto en términos de las prácticas hidrometalúrgicas actuales.

Proceso	Líquido de Lixiviación		Fuente de Oxígeno	Temperatura (°C)	Presión (Atm.)	Tiempo de Retención
	Primario	Secundario				
IGP	Cloruro	Ninguno	Aire	90-100	1	6-20 hrs
BiOx	Sulfato	Cianuro*	Aire	45-75	1	100-150 hrs
POx	Sulfato	Cianuro *	O ₂	>200	>30	1-2 hrs

*Via Planta de tratamiento convencional CIL/CIP.

Tabla 1: Características del IGP relativas a las tecnologías competidoras de procesamiento de oro refractario

Hay un número de factores que pueden hacer un mineral conteniendo oro refractario, como se muestra en la Tabla 2.

Tipo	Causas de Características Refractarias
Liberación	Bloqueo físico en silicatos, sulfuros, carbon, etc.
Oclusión	Pasivación debido a la formación de una capa química.
Química	Formación de compuestos auríferos, ejemplo telururos de oro y AuSb ₂ .
Substitución	Reemplazo elemental por oro en red mineral ejemplo “solución sólida” oro en minerales de pirita.
Adsorción	Adsorción de oro disuelto por materiales carbonáceos activos en la pasta de mineral.

Tabla 2: Causas de Características Refractarias

El IGP ha sido específicamente desarrollado para tratar concentrados producidos a partir de esos minerales refractarios que caen en la tercera y cuarta categorías de “química” y “substitución”. La mayor proporción de las reservas de oro mundiales caen dentro de estas dos categorías, las cuales están dominadas por sulfuros de hierro tales como arseno-pirita y pirita presentándose separadamente ó mas comúnmente en combinación. Los minerales de oro verdaderos como AuTe₂ y AuSb₂ son menos comunes, pero también pueden ser tratados fácilmente.

2. Química y Diagrama de Flujo del Proceso IGP

A continuación están descritos el diagrama de flujo y la química del Proceso IGP para el tratamiento de concentrados de oro refractarios que contienen arseno-pirita y pirita.

Arseno- pirita

La presencia de arsénico en concentrados de oro refractario es principalmente en forma de arseno-pirita (FeAsS). El oro generalmente está “bloqueado” en esta arseno-pirita, principalmente como especies conectadas en red, regularmente referidas como solución sólida, en lugar de oro nativo y consecuentemente requiere la destrucción completa de las redes de arseno-pirita para su liberación. La destrucción de la red de arseno-pirita en el IGP es logrado por oxidación química de acuerdo a la siguiente reacción global:

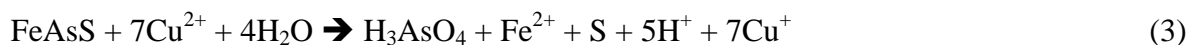


El oxígeno no oxida directamente la arseno-pirita, sino que actúa por medio de varias etapas intermedias, ya que su solubilidad en el licor del proceso es extremadamente baja.

El oxígeno, suministrado directamente por medio de aire esparcido dentro del lixiviado a presión atmosférica, es utilizado inicialmente para generar un oxidante soluble en la forma del ión cúprico (Cu^{2+}) de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción se lleva a cabo en la interface entre las burbujas de aire y el licor de proceso. El ión cúprico oxida entonces la arseno-pirita de acuerdo a la siguiente reacción:



Los productos de la reacción ferrosa y cuprosa son seguidamente oxidados por aire esparcido adicional de acuerdo a la reacción (2) y a la siguiente reacción:



En presencia del ión férrico, el ácido arsénico forma fácilmente arsenato férrico insoluble de acuerdo a la siguiente reacción:



El arsenato férrico formado en el licor alto en cloruro y bajo las condiciones de operación en el IGP es típicamente cristalino y estable en el medio ambiente.

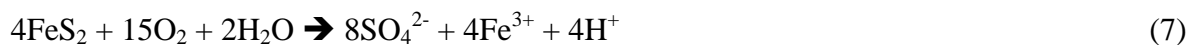
La acción de la pareja $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ es complementada por la pareja $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ debido a que una concentración de hierro está siempre presente como base en el licor de proceso. El potencial alcanzable bajo la influencia del Cu^{2+} y el Fe^{3+} está en el rango de los 850mV en presencia de oxígeno. Este potencial es suficiente para la disolución del oro, debido a la estabilización del oro por la formación de un complejo cloruro/bromuro de acuerdo a la siguiente reacción:



La oxidación es llevada a cabo a una temperatura de 90-95°C en un electrolito de cloruro 8M conteniendo 20-40g/l del ión Cu^{2+} .

Pirita

La oxidación de pirita (FeS_2) en el IGP es lograda por medio de la misma serie de reacciones intermedias empleadas para la oxidación de Arseno-pirita de acuerdo a la siguiente reacción global:



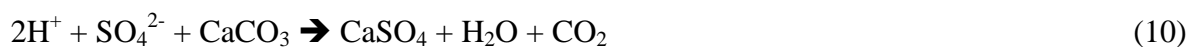
Debe tenerse en cuenta que el sulfuro pirítico es oxidado completamente a sulfato en contraste con el sulfuro arseno-pirítico que es oxidado únicamente al estado elemental.

Pirita es mas refractoria que arseno-pirita, requiriendo un molido más fino para lograr cinéticas de reacción aceptables como es explicado en la Sección 3. Sin embargo, muestras individuales de pirita exhiben reactividad variable que se cree que es afectada por la substitución de arsénico por una porción de sulfuro en la red del cristal. Tal pirita regularmente se denomina pirita arsénica y entre mayor sea la contaminación de arsénico más se acerca la reactividad de la pirita a la de verdadera arseno-pirita con un radio As/S de uno.

La reacción procede por medio de la pareja $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ igual que para la arseno-pirita a una temperatura de 95-100°C en el mismo licor utilizado para la oxidación de la arseno-pirita de acuerdo a la siguiente reacción:



El Cu^+ y el Fe^{2+} son oxidados por el aire u oxígeno (si es necesario) esparcido de acuerdo a las reacciones 2 y 4 con el férrico y el sulfato formado siendo precipitados como hematita y anhídrido por la adición de piedra caliza hasta un pH de 1-1.5 aproximadamente de acuerdo a las siguientes reacciones:



La adición de piedra caliza es controlada para mantener una solución estable y para precipitar el exceso de hierro.

Diagrama de Flujo del Proceso

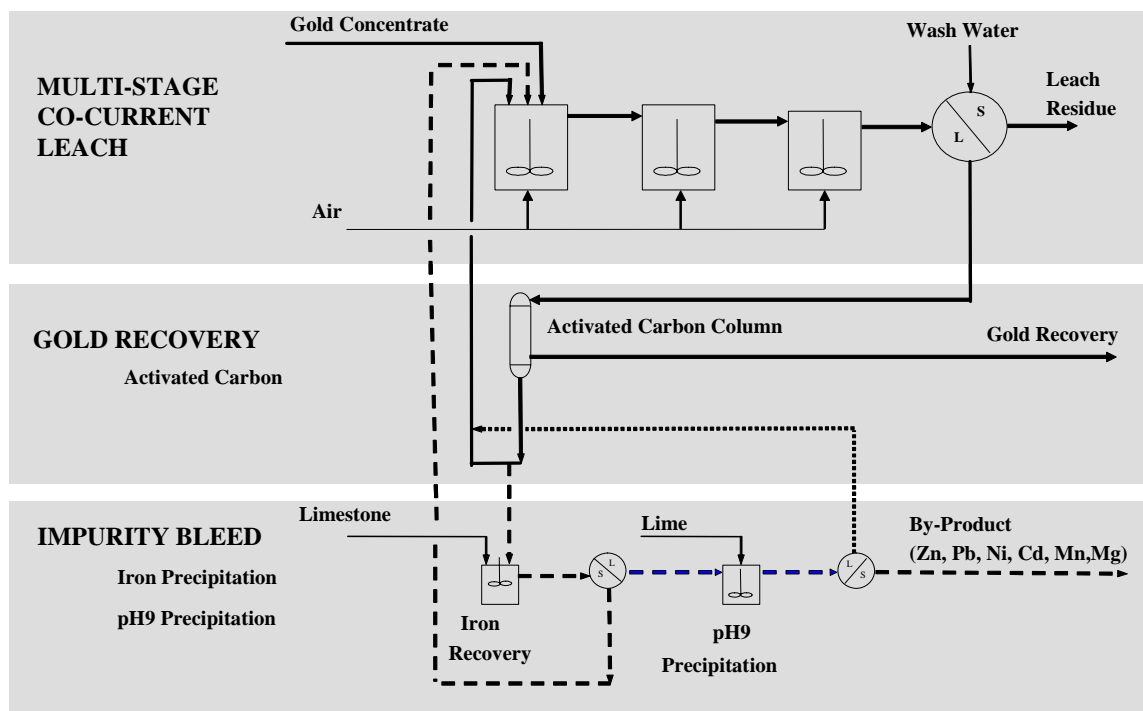


Figura 1: Diagrama de Flujo simplificado del IGP para el tratamiento de concentrados de oro con una mezcla de arseno-pirita y pirita.

3. Tamaño de Molido del Concentrado

Los concentrados son típicamente recibidos en el rango de tamaño de 80% pasando 70-100 microns. Pruebas han indicado que la cinética de la reacción es significativamente mejorada cuando los concentrados son re-molidos a un tamaño más fino lo que depende de las características de cada concentrado individual.

Cuando la arseno-pirita es el mineral cargado de oro principal, un tamaño de 80% pasando 30-40 microns ha probado ser adecuado para alcanzar una buena extracción del oro y un tiempo de retención aceptable para la lixiviación.

Cuando el oro está bloqueado en la pirita, el tamaño de molido dependerá principalmente de la reactividad de la pirita, como se explicó anteriormente, puede variar

significativamente. Para una pirita altamente activa, se utiliza el molido empleado para arseno-pirita, pero pirita más refractaria requiere un molido más fino. Este puede llegar a un molido ultra-fino en casos de pirita altamente refractaria y en los casos más difíciles puede hacer que el tratamiento del concentrado no sea económico.

4. Ventajas Medioambientales del IGP

Además de optimizar el proyecto económicamente, el enfoque de la industria de oro mundial en el desarrollo de técnicas de procesamiento mejoradas para depósitos de oro refractario ha sido impulsado por la necesidad de rutas de procesamiento más medioambientalmente aceptables.

Los procesos convencionales tratan todo el alimento concentrado con cianuro y así el residuo final (después de la extracción del oro) está contaminado con el lixiviante cianuro. De esta manera los residuos sufren de numerosos riesgos inherentes –ambos reales y percibidos- asociados con el uso y eliminación del cianuro y algunos proyectos han sido vetados por esta razón. El cianuro es eliminado invariablemente en represas de desechos al aire libre de donde se pierde, ya sea idealmente por degradación natural o por escapes indeseados. Alternativamente, el cianuro es destruido costosamente por oxidantes químicos como los hipocloritos. De otro lado, el residuo de lixiviación del IGP únicamente contiene cantidades menores de cloruro residual y es esencialmente el mismo residuo de la planta de demostración del Proceso de Cobre, el cual pasó las pruebas de la EPA en New South Wales siendo apropiado para su desecho en rellenos sanitarios.

El IGP por lo tanto tiene una gran ventaja con respecto a todos los otros procesos de oro refractario en que no es necesario incluir una etapa de lixiviación de cianuro secundaria para recuperar el oro de los materiales pre-tratados; en cambio el oro es recuperado en carbón convencional directamente de la solución de lixiviación primaria. El tiempo de retención para la adsorción del oro es 10-15 minutos, lo que es similar a las prácticas convencionales para los sistemas de cianuro.

El oro cargado en el carbón es típicamente 2-5% peso/peso debido a las concentraciones relativamente altas de oro en tales soluciones (típicamente 10-100mg/l), las cuales resultan de concentrados de alto grado de oro. El oro es recuperado por elución convencional o por tostado del carbón, con la selección dependiendo de la situación económica individual.

La habilidad para desechar los sub-productos como el arsénico y el azufre en una forma responsable es de similar importancia medioambiental. El tostado crea trióxido arsénico (As_2O_3), el cual tiene que ser cuidadosamente almacenado y eventualmente desechado a un costo considerable. Por el contrario, el IGP crea arsenato férrico cristalino ($FeAsO_4 \cdot 2H_2O$) en su forma más estable, similar al mineral “scorodite” que se encuentra naturalmente.

La presencia de impurezas en el alimento concentrado (como Cd, Mn, Mg, etc.) no tiene efecto perjudicial sobre la lixiviación o la precipitación de arsénico. Sin embargo, se requiere de un método para el manejo de impurezas. Esto es logrado por medio de precipitación de una purga de la solución cúprica generada, y la salmuera se retorna al proceso. Es importante notar que el IGP no genera ningún efluente líquido o emisiones gaseosas y que todas las impurezas son producidas como sub-productos sólidos.

La piedra caliza es adicionada a la purga para ajustar el pH a 3.5, precipitando el hierro y cobre residual, los cuales son removidos por filtración y reciclados a la lixiviación. Impurezas, tales como Cd, Mn y Mg, son entonces removidas por medio de adición de cal a un pH 9 para formar óxidos insolubles que son recuperados por filtración para desecho.

En la oxidación de arseno-pirita y pirita, el IGP produce azufre elemental y anhídrido respectivamente. Estos son residuos estables comparados con los residuos de sulfato producidos por oxidación a presión y los todavía menos estables los residuos de sulfato producidos por oxidación bacterial.

5. Materiales de Construcción

Las operaciones unitarias del IGP son virtualmente las mismas que las del Proceso de Cobre Intec que ha sido operada a una escala de planta de demostración de 1 tpd por aproximadamente 1 año. Los mismos materiales de construcción probados en la planta de cobre serán utilizados para el IGP.

Estos materiales incluyen los plásticos reforzados de fibra de vidrio convencionales (FRP) para tanques y tuberías y plásticos convencionales para bombas.

Los agitadores son fabricados de titanio para soportar el ambiente corrosivo así como es la práctica estándar en procesos de oxidación a presión.

Muchos años de experiencia de operación han sido ganados por la industria del níquel en la producción del metal níquel a partir de sulfuro de níquel mate en una matriz química muy similar, lo que significativamente reduce el nivel riesgo asociado con el IGP.

6. Ventajas Económicas del IGP

Intec ha hecho un análisis de costo comparativo entre el IGP contra BiOx y Pox basado en costos del primer trimestre del 2004. Tostado no fué incluido en el análisis de costo comparativo por las razones descritas anteriormente.

J R Goode and Associates, una respetada compañía de consultoría internacional en metalurgia de oro ubicada en Toronto, Canada, llevo a cabo el proceso de costeo para BiOx y POx. H.G. Engineering (también en Toronto) llevó a cabo el proceso de costeo para el IGP. Ambos estudios asumen una ubicación en Norte América y un material de alimento concentrado el cual fue un promedio basado en un análisis de 19 concentrados de oro refractario (concentración de oro 59 g/t y 20.2% azufre). Los límites de batería para el estudio incluyeron los circuitos de oxidación y recuperación de oro pero excluyeron

flotación y re-molido del concentrado. El grado de re-molido necesitado para cada una de las rutas de proceso se diferenciará dependiendo de la mineralogía de cada tipo de concentrado. El circuito de oxidación del IGP asume el uso de aire como fuente de oxígeno.

Los resultados del análisis de costo comparativo son presentados en las Figuras 3 y 4 para un concentrado de oro con una rata de alimentación de 50,000tpa.

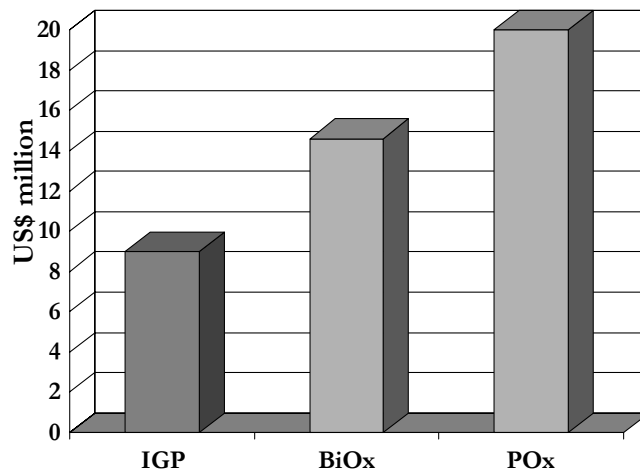


Figure 3: Comparación de inversión de capital para 50,000tpa de concentrado de oro.

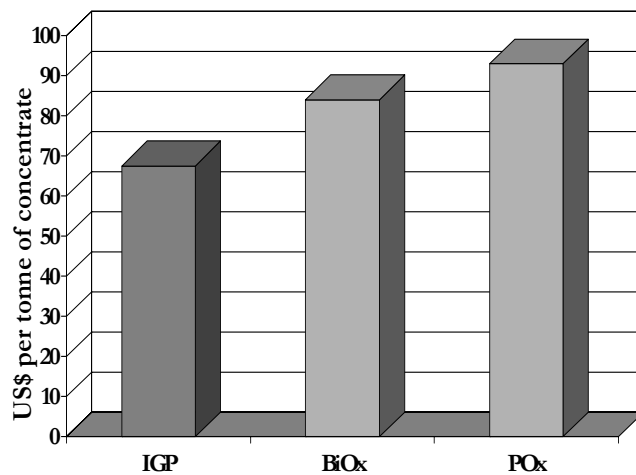


Figure 4: Comparación de gastos de operación para 50,000tpa de concentrado de oro.

Como se muestra arriba, el IGP tiene una ventaja de costo significativa sobre ambos BiOx y POx en el procesamiento de concentrados de oro refractarios.

7. Conclusión

El IGP representa un nuevo enfoque para la recuperación de oro de depósitos de sulfuro refractarios que ofrece beneficios significantes en reducción de capital y costos de operación.

Significantes beneficios medioambientales resultan de la eliminación de cianuro, el cual se está convirtiendo mucho más difícil de permitir en muchos países.

La culminación exitosa del el desarrollo a escala de laboratorio del IGP ha llevado a el diseño de una planta a escala piloto en Sydney, la cual está disponible para campañas piloto.

Las consultas deben ser dirigidas a:

Mr A John Moyes
Technical Director
Intec Ltd
Gordon Chiu Building J01
Department of Chemical Engineering
Maze Crescent
University of Sydney NSW 2006
Australia
Telephone: +612-9351-6741
Facsimile: +612-9351-7180
Email: john@intec.com.au
Website: www.intec.com.au