

Cuaderno de Evaluación Operador Base Planta

Módulo IV: Hidrometalurgia: Proceso de Extracción
Solvente

PFPCO-2-01/v.2-[PE01-M04/v.1]

Una iniciativa de:



Con la asesoría experta de:



Equipo Consejo Minero

Joaquín Villarino H., Presidente Ejecutivo
Carlos Urenda A., Gerente General
Christian Schnettler R., Gerente Consejo de Competencias Mineras
José Tomás Morel L., Gerente de Estudios
María Cecilia Valdés V., Gerente de Comunicaciones
Sofía Moreno C., Gerente de Comisiones y Asuntos Internacionales
Claudia Díaz R., Jefe de Proyectos

Equipo Innovum Fundación Chile

Hernán Araneda D., Gerente
Diego Richard M., Director Programa Fuerza Laboral Minera
Rafael Pizarro G., Director de Proyectos
Eduardo Soto S., Consultor Senior
Ignacio Riffo C., Consultor Senior
Álvaro Aguilar H., Consultor de Proyectos

Consejo Minero

Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.

Teléfono: (562) 2347 2200

www.ccm.cl

Propiedad del Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero:

Este material ha sido realizado por el Centro de Innovación en Capital Humano de Fundación Chile - Innovum, con la colaboración técnica del Centro de Entrenamiento Industrial y Minero - CEIM, para el Consejo de Competencias Mineras (CCM) del Consejo Minero - del cual pasa a ser propiedad -.

Este material está disponible para instituciones que imparten formación en el ámbito minero en Chile, a las que se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos de este material para fines de formación, citando siempre al Consejo de Competencias Mineras del Consejo Minero y pudiendo incluso adaptarlo para satisfacer los requerimientos de los participantes. Se prohíbe la reproducción o adaptación con fines comerciales.

El uso del género masculino en esta publicación no constituye discriminación; tiene el sólo propósito de aligerar el texto cuando la redacción así lo exige.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
QUEDA AUTORIZADA SU REPRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN CITANDO LA FUENTE.**

© Anglo American Norte S.A., Anglo American Sur S.A., Anglo American Chile Ltda.; Antofagasta Minerals S.A.; BHP Chile Inc.; Compañía Minera Barrick Chile Ltda.; Compañía Minera Cerro Colorado Ltda., Minera Escondida Ltda., Minera Spence S.A.; Compañía Minera Zaldívar Ltda.; Corporación Nacional del Cobre de Chile; Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM; Compañía Contractual Minera Candelaria, Sociedad Contractual Minera El Abra; Freeport-McMoran South America Inc.; Glencore Chile S.A.; SCM Minera Lumina Cooper Chile; Sierra Gorda SCM; Teck Resources Chile Ltda.; Yamana Chile Servicios Ltda.; 2013.

Consejo de Competencias Mineras – CCM:

El Consejo de Competencias Mineras (CCM) es una iniciativa de articulación entre las empresas mineras, cuyo fin es proveer información sectorial, estándares y herramientas que permitan al mundo formativo adecuar la formación de técnicos a la demanda del mercado laboral minero, tanto en términos cualitativos como cuantitativos. Con la asesoría experta de Innovum Fundación Chile, este organismo genera, con un enfoque sistémico, insumos para el mundo formativo, dando a conocer qué necesidades de capital humano tiene la minería y transfiriendo buenas prácticas para su formación.

El Consejo de Competencias Mineras – el primero de su naturaleza en el país – opera al alero del Consejo Minero. Fue formado en 2012 y cuenta con 12 empresas socias. A tres años de su creación, el CCM ha desarrollado una serie de productos y sistemas que han marcado un cambio de paradigma en la vinculación del mundo productivo con el de la formación para el trabajo, y han significado un aporte de fondo para el mejoramiento y la valoración de la educación técnico-profesional en el país, con un alcance que trasciende ampliamente a la sola industria minera.

Los Paquetes para Entrenamiento, son uno de estos productos. Se han creado además: Estudios de Fuerza Laboral, El Marco de Cualificaciones para la Minería (MCM), Marco de Calidad de Buenas Prácticas Formativas, Marco de Calidad para Instructores e impulsamos el apoyo sectorial al Sistema de Certificación de Competencias Laborales.

Si bien el Consejo de Competencias Mineras es una entidad privada, sus productos están concebidos como bienes públicos y gratuitos, de valor compartido para todos los estamentos de la sociedad en Chile. Toda la información y los productos generados por el CCM, además de un breve video explicativo, están disponibles en el sitio web: www.ccm.cl

El desafío que ahora enfrenta el CCM es que, tanto el mundo formativo como el minero, incorporen los estándares generados a sus procesos de negocio y a su quehacer diario. Esto generará una fuerza laboral más productiva y, por ende, mayor competitividad del país en el contexto internacional.

Contribución del CCM

Para trabajadores actuales y personas interesadas en trabajar en la minería:

- Mejor empleabilidad.
- Aprendizaje adecuado a los requerimientos del mercado.
- Acceso no sólo a un oficio, sino a rutas de formación y aprendizaje.



Para el sector minero:

- Mitigación de la escasez de personal, anticipándose al problema de manera coordinada y con visión de futuro.
- Mejora de productividad, al contar con más trabajadores preparados para los requerimientos de la industria, tanto propios como de proveedores.
- Mayor competitividad de esta industria, que repercute positivamente también en la competitividad del país.

Para las instituciones educativas:

- Mejor empleabilidad de sus egresados.
- Mejor información proyectada a 8 a 10 años, para potenciar programas formativos en los oficios para los cuales se anticipa una mayor brecha de capital humano.
- Oportunidad para el reconocimiento de la industria respecto a su calidad formativa.



Para la comunidad y el país:

- Asignación más eficiente de fondos públicos de educación y capacitación, al tener identificados programas adecuados para satisfacer requerimientos del mercado.
- Disminución de la presión que se ejerce sobre otros sectores productivos por la demanda de trabajadores, al aumentar la cantidad de personas calificadas para la minería.

Índice

Módulo IV: Hidrometalurgia: Proceso de Extracción por Solvente.....	1
Descripción general de la sección 1: Evaluación de Proceso	8
Módulo IV: Hidrometalurgia: Proceso de Extracción por Solvente.....	9
1. Operación de extracción por solventes.....	10
2. Principales equipos y parámetros operacionales.....	13

Introducción

La evaluación corresponde a cualquier situación, recurso, procedimiento o instrumento que se utilice para obtener información sobre la marcha del proceso de formación. Permite conocer las competencias que fueron adquiridas por los participantes y que a futuro son las que le servirán en el mundo del trabajo.

El documento tiene una estructura similar al cuaderno del instructor, es decir, la misma división de módulos y contenidos.

Al interior de cada módulo el instructor encontrará un set de preguntas y sus respectivas respuestas.

Se sugiere realizar evaluaciones parciales de cada uno de los contenidos consignados en el Cuaderno del Instructor. Para tal efecto se recomienda seleccionar algunas preguntas para realizar los test y construir una pauta de evaluación para esto.

Se recomienda preparar a los participantes antes de la evaluación final del módulo y mediante el trabajo en las distintas sesiones, dar respuesta a las inquietudes que surjan durante el proceso de formación.

Cabe señalar que las actividades prácticas sugeridas en el Cuaderno del Instructor pueden ser utilizadas como evaluaciones de proceso de los contenidos vistos en cada módulo. Para el óptimo desarrollo de las actividades, el participante cuenta con un cuaderno de actividades, que posterior a su realización, serán verificadas y firmadas por el instructor y podrán ser parte del portafolio de evidencias de cada participante.

Descripción general de la sección 1: Evaluación de Proceso

Esta sección contiene un conjunto de preguntas posibles a utilizar para trabajar con los participantes durante las sesiones de aprendizaje del Módulo 4 del programa **Operador Base Planta**. Este documento servirá de guía y repositorio de preguntas para realizar las evaluaciones de proceso pertinentes del oficio.

El documento tiene una estructura similar al cuaderno del instructor, es decir, la misma división de módulos y contenidos.

Al interior de cada módulo el instructor encontrará set de preguntas y sus respectivas respuestas.

Se sugiere realizar evaluaciones parciales de cada uno de los módulos consignados en el **Cuaderno del Instructor**. Para tal efecto se recomienda seleccionar algunas preguntas para realizar los test y construir una pauta de evaluación para esto.

Se sugiere también preparar a los participantes antes de la evaluación final del programa y mediante el trabajo en las distintas sesiones, dar respuesta a las inquietudes que surjan durante el proceso de formación.

Cabe señalar que las actividades prácticas sugeridas en el **Cuaderno del Instructor** pueden ser utilizadas como evaluaciones de proceso de los contenidos vistos en cada módulo. Para el óptimo desarrollo de las actividades, el participante cuenta con un cuaderno de actividades, que posterior a su realización, serán verificadas y firmadas por el instructor y podrán ser parte del portafolio de evidencias de cada participante.

Módulo IV: Hidrometalurgia: Proceso de Extracción por Solvente

1. Operación de extracción por solventes

1) ¿Qué es la extracción por solventes?

La extracción por solventes es un proceso donde el cobre, disuelto en forma de iones dentro de una fase acuosa pasa hacia otra fase líquida, inmiscible con ella, conocida como fase orgánica.

2) Mencione 2 objetivos del proceso de extracción por solventes del cobre.

Responder con 2 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Separación y purificación de uno o más metales de interés de las soluciones que los contienen, las que suelen tener impurezas. Consiste en extraer el o los metales deseados desde soluciones o a la inversa, extraer las impurezas de la solución, dejando el o los metales deseados en ella.
- Concentración de los metales disueltos para disminuir los volúmenes a procesar y así reducir los costos del proceso siguiente.
- Transferencia de los metales disueltos desde una solución acuosa compleja a otra solución acuosa diferente, que simplifique el proceso siguiente.

3) Mencione los 3 circuitos presentes en el proceso SX-EW (extracción por solventes y electro obtención).

- Circuito de solución de lixiviación.
- Circuito de purificación.
- Circuito de electroobtención.

4) Mencione 2 operaciones específicas de la metalurgia que pueden realizarse gracias a la incorporación de la extracción por solventes.

Responder con 2 enunciados cualquiera de los siguientes.

- La recuperación selectiva de un solo metal desde una solución de lixiviación, liberándolo de sus impurezas y concentrándolo de manera que facilite su posterior recuperación.
- La separación conjunta de varios metales desde una solución
- La extracción de las impurezas dañinas o contaminantes de una solución para dejarla limpia como solución de partida o purificada.

5) ¿Cuáles son las 2 etapas fundamentales del proceso de extracción por solventes?

- Etapa de extracción o carga del reactivo.
- Etapa de re-extracción, stripping o descarga del reactivo.

6) Mencione 3 sustancias químicas que participan en la etapa de extracción del proceso de extracción por solventes.

Responder con 3 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Fase acuosa:
 - Especie química que interesa extraer
 - Otras especies químicas presentes en el disolvente acuoso
 - Disolvente acuoso
- Fase orgánica:
 - Extractante orgánico
 - Diluyente orgánico
 - Modificador de fase (si fuese necesario)

7) Mencione 2 sustancias químicas que participan en la etapa de stripping o re-extracción del proceso de extracción por solventes.

Responder con 2 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Fase orgánica:
 - Complejo extractante metal a extraer.
 - Diluyente orgánico.
- Fase acuosa:
 - Agente de stripping.
 - Disolvente acuoso del agente de stripping.

8) ¿Qué es un extractante?

Es un reactivo orgánico cuya característica principal es poder reaccionar y atrapar selectivamente un elemento disuelto específico.

9) Mencione 2 tipos de extractantes comerciales.

Responder con 2 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Extractantes solvatantes.
- Extractantes básicos.
- Extractantes ácidos.
- Extractantes quelantes.

10) ¿Cuál es el tipo de extractante más utilizado en la extracción del cobre?

- a) Extractante solvatante.
- b) Extractante básico.
- c) Extractante ácido.
- d) Extractante quelante.

11) ¿En qué consiste la etapa de extracción o carga del reactivo?

La solución impura proveniente de la lixiviación en fase acuosa se introduce en mezcladores especiales donde se contacta con la fase orgánica. Como ambas fases son inmiscibles, cuando se mezclan, la especie metálica de la fase, por medio del reactivo extractante, se transfiere químicamente a la fase orgánica, hasta alcanzar el equilibrio químico. Así, se genera una fase orgánica cargada con la especie metálica de interés y una solución acuosa descargada o refino.

12) ¿En qué consiste la etapa de re-extracción o descarga del reactivo?

Consiste en la recuperación de la especie metálica desde la fase orgánica, con la regeneración simultánea de las capacidades extractivas de esta fase. Esto permite reutilizarla en otra extracción.

2.Principales equipos y parámetros operacionales

13) Mencione los 4 equipos principales que componen una planta de extracción y la utilidad de cada uno de ellos.

- Mezclador: Recibe las fases acuosa y orgánica y las mezcla y emulsiona.
- Sedimentador: Separa las 2 fases.
- Manguera distribuidora: Asegura un flujo laminar.
- Equipos mezcladores tipo perfil bajo: Une la solución acuosa con el reactivo de extracción.

14) Explique brevemente los conceptos de emulsión y coalescencia.

- Emulsión: es la formación de gotas pequeñas. Se verifica en el mezclador.
- Coalescencia: es el aglutinamiento de las gotas pequeñas en gotas grandes. Se verifica en el decantador.

15) ¿Qué es la banda de dispersión?

Es la zona donde se produce la coalescencia y comienzan a separarse las fases constituyentes de la emulsión. Se forma en el decantador.

16) ¿Qué ocurre con el orgánico y el acuoso en la banda de dispersión?

El orgánico asciende mientras que el acuoso desciende, generándose un perfil de fases donde el orgánico se encuentra sobre el acuoso y la banda de dispersión se ubica entre ambas.

17) ¿Qué es el rompimiento de fase y dónde se produce?

Se produce en el decantador y corresponde a la formación de dos capas continuas y perfectamente separadas, a partir de la coalescencia del orgánico y el acuoso (previamente contactados).

18) ¿Cómo se genera el orgánico continuo?

Se produce cuando se agitan las fases orgánica y acuosa y quedan gotas de acuoso dentro del orgánico.

19) Explique la razón orgánico-acuoso.

La razón orgánico-acuoso (O/A) es el cociente entre el flujo de orgánico y el flujo de acuoso, que ingresan al estanque de mezclado principal del mezclador-decantador. La práctica industrial muestra que una razón O/A cercana a 1,0 origina la mejor separación de fases.

$$O/A = \text{Orgánico [m}^3/\text{h]} / \text{Acuoso [m}^3/\text{h]}$$

O/A = 1 se logra haciendo coincidir los flujos de orgánico y de acuoso alimentados al mezclador-decantador. Esta condición de operación define el flujo de orgánico para el circuito.

20) ¿A qué se refiere el término acuoso continuo?

Se refiere a una fase acuosa que contiene pequeñas gotas de orgánico dispersas dentro de ella. La mezcla acuosa continua conduce la corriente eléctrica.

21) ¿A qué se refiere el término orgánico continuo?

Se refiere a una fase orgánica que contiene pequeñas gotas de acuoso dispersas dentro de ella. La mezcla orgánica continua no conduce la corriente eléctrica.

22) Mencione 3 formas de verificar el tipo de continuidad.

Responder con 3 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Observar el sensor de conductividad inmerso en la dispersión, ya que el orgánico es no conductor desde el punto eléctrico.
- Dejar coalescer las fases en una probeta y fijarse en la forma del menisco de interfase, para orgánico continuo es redondeado y para acuoso continuo, plano.
- Observar la velocidad de coalescencia: más rápida en acuoso continuo que en orgánico continuo.
- Observar las burbujas de acuoso en la interface: en el orgánico continuo son grandes y dispersas, mientras que en el acuoso continuo son pequeñas.
- Observar la apariencia: la superficie de una mezcla bajo continuidad orgánica se ve menos agitada que bajo continuidad acuosa.

23) El bandómetro es un equipo utilizado para controlar las cotas en el decantador. ¿Qué es lo que mide? Mencione 3 tipos de mediciones distintas.

- La altura de la banda de orgánico.
- La altura de la dispersión.
- La altura de borra o crub.

24) Explique el concepto de “arrastre” en la extracción por solvente del cobre.

Consiste en el arrastre de una de las fases dentro de la otra en forma de microgotas que no logran ser separadas en los decantadores. Esto conlleva a problemas operacionales y deficiencias.

25) ¿A qué se refiere el término arrastre o contaminación O/A y cuál es su efecto?

Es el volumen de orgánico, medido en partes por millón (ppm) que es arrastrado por la fase acuosa. Representa una pérdida del reactivo orgánico.

26) ¿Qué es el arrastre o contaminación A/O y cuál es su efecto?

Es el volumen de acuoso, medido en partes por millón (ppm), que es arrastrado por la fase orgánica. Implica un aumento de la concentración de impurezas en el electrolito, lo cual, en algunos casos, justifica una etapa de lavado del orgánico.

27) Mencione 4 formas de remover los atrapamientos O/A.

Responder con 4 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Usar post decantadores de refino y electrolito.
- Recolectar y retirar desde piscinas de refino.
- Usar columnas de flotación.
- Usar celdas Scavenger en EW.
- Usar filtros Chuqui-Demister.
- Usar estanque de electrolito rico.

28) Mencione 2 formas de remover los atrapamientos A/O.

Responder con 2 enunciados cualquiera de los siguientes.

- Incorporar a los decantadores, mallas empacadas con elementos coalescedores.
- Usar coalescedores tipo Chuqui
- Incorporar etapas de lavado en la configuración de la planta.
- Lavado o lluvia de agua dentro del decantador.

29) ¿Qué es la carga máxima?

Corresponde a la máxima cantidad de cobre que la fase orgánica puede aceptar. Se expresa como g/l Cu y será función de la cantidad de oxima contenida en la fase orgánica.

30) ¿Qué es la transferencia neta?

Es la cantidad efectiva de la especie química de interés transportada por el reactivo de SX desde la solución rica hasta el electrolito. Se expresa en gramos/litro/1% reactivo v/v.

También puede decirse que es la diferencia entre la concentración de la especie de interés en el orgánico cargado y el orgánico descargado, por cada unidad de porcentaje de concentración volumétrica del reactivo de SX en la fase orgánica.

31) El porcentaje de extracción se calcula usando los coeficientes de distribución y la razón O/A como se muestra a continuación:

$$\% \text{ de extracción} = \frac{O/A \times D}{(1 + O/A) \times D}$$

En este coeficiente ¿qué representa la letra D?

$$D = \frac{\text{Concentración del metal en la fase orgánica}}{\text{Concentración del metal en la fase acuosa}}$$

32) ¿A qué corresponde la concentración de extractante?

Corresponde al volumen de extractante contenido en la fase orgánica.

33) ¿A qué corresponde la carga máxima de equilibrio?

Corresponde a la concentración de cobre en la fase orgánica. Queda determinada por la proyección del PLS cuando corta la isoterma de extracción.

34) ¿Qué proporción expresa el porcentaje de carga?

Expresa la proporción de cobre contenido en el orgánico cargado que deja la etapa de extracción. Se expresa de dos formas:

- Referido a la carga máxima
- Referido a la carga máxima de equilibrio

35) Respecto al contenido que puede presentar la fase orgánica ¿Qué expresa la descarga máxima?

La descarga máxima expresa el mínimo contenido de cobre, en gpl Cu, que puede tener la fase orgánica de acuerdo a las condiciones de operación de la planta. Se manifiesta en la concentración de cobre en el orgánico descargado que deja la etapa de reextracción antes de entrar a la etapa de extracción.

36) ¿En qué consiste la eficiencia de stripping o eficiencia de extracción? ¿Cómo se expresa?

Corresponde a la transferencia de cobre desde la fase orgánica al electrolito. Se expresa como:

$$\% \text{ stripping} = \frac{(O.C - O.D) \text{ gpl Cu}}{O.C \text{ gpl Cu}} \times 100$$

Su valor se ve influenciado por: la razón O/A, el gpl H⁺ y Cu en E.P, el número de etapas de stripping, el tipo de reactivo y °/v extractante

37) ¿Qué es la borra y por qué es perjudicial?

Es una dispersión estable llamada emulsión trifásica compuesta por orgánico, acuoso, aire y sólidos coloidales que pueden ubicarse en la interfase acuosa orgánica, en el fondo del decantador o como sobre-nadante. Las proporciones de los componentes de la borra varían entre plantas y aún entre los equipos de un mismo tren.

Es muy perjudicial porque provoca pérdidas de orgánico, contaminación del electrolito y disminución de la capacidad de transferencia de la planta de extracción por solventes.

38) ¿Verdadero o falso? La diferencia de densidad entre las fases acuosa y orgánica favorece la separación de fases.

Verdadero.

39) ¿Verdadero o falso? La viscosidad de las soluciones lixiviantes tiende a aumentar en el tiempo debido a la incorporación paulatina de impurezas del mineral. Esto contribuye a limitar la calidad de la separación de fases en la extracción.

Verdadero.

40) ¿Verdadero o falso? A menor temperatura de los fluidos mezclados, menor tiempo de separación de fases.

Falso.

41) ¿Cómo se remueven las impurezas del arrastre en el orgánico?

El orgánico cargado se mezcla con agua tratada acidificada. Así, una parte de las impurezas se eliminan mediante la dilución.

42) ¿Cuál es el objetivo de las líneas de recirculación?

Recircular la fase orgánica o acuosa para mantener la relación 1:1 de fase orgánica y fase acuosa. Las líneas de recirculación salen desde cualquiera de los vertederos (orgánico o acuoso) y se dirigen hacia los mezcladores. Cada uno de los trenes de SX cuenta con una recirculación.



Consejo Minero
Dirección: Apoquindo 3500, Piso 7, Las Condes, Santiago.
Teléfono: (562) 2347 2200
www.ccm.cl

