

Guía de Manejo Ambiental de Reactivos y Productos Químicos

1.0 INTRODUCCION

1.1 Objetivo y Alcance

El objetivo del presente documento es poner a disposición de los interesados y del público en general una guía para el manejo, almacenamiento, uso, disposición y tratamiento de aquellos reactivos y productos químicos que son frecuentemente utilizados y/o producidos por/en las operaciones minero-metalúrgicas que se desarrollan en el país.

En esta guía se presentan Prácticas Adecuadas de Manejo, a las cuales se alude como Prácticas para el Control de la Contaminación, que hacen referencia al manejo y almacenamiento de estos compuestos. Se sugiere una dosificación adecuada del uso de los mismos, se describe el programa de manejo de agua de tormenta, se establece un marco de referencia para la preparación de respuesta frente a la eventualidad de derrames en el tratamiento de desechos y alternativas para la disposición de estos compuestos.

Si bien cada operación tiene características propias, tanto desde el punto de vista de procesos mineros o de fundición, muchas de las prácticas sugeridas en la presente guía son de validez general. Ciertamente que para la implementación de un programa de manejo de reactivos se deberá considerar los factores específicos del lugar, tales como la proximidad a centros poblados, propiedades físicas y químicas de las sustancias almacenadas en el lugar, la capacidad de respuesta frente a los derrames e incendios por parte del personal involucrado y el tipo de compuestos almacenados en el área. En este documento, no se aborda lo concerniente al uso, almacenamiento, comercialización, y control de explosivos.

El fin último que se persigue con el manejo adecuado de reactivos en cualquier lugar es minimizar la liberación o descarga de estos reactivos en cantidades que sean nocivas para el medio ambiente. Para fines prácticos, el medio ambiente puede ser considerado como cualquier área fuera de las propias operaciones o simplemente como un cubo imaginario que incluye todas las actividades. La Figura 1 ilustra las potenciales descargas hacia el medio ambiente. El personal de la planta deberá tener en consideración que tanto personas, como animales podrían ingresar al área de la planta, y debe preverse las medidas de seguridad apropiadas.

Para desarrollar un programa de manejo de compuestos químicos y reactivos, se debe realizar como primer paso un balance de materiales que incluya a todos los reactivos empleados en los procesos. El balance permitirá identificar cuánto se ha consumido, se ha perdido durante el transporte y se ha descargado al medio ambiente a través de las rutas señaladas en la Figura 1. En base a los resultados del balance de materiales, se podrá desarrollar un plan que incida en el manejo apropiado de reactivos y estrategias de control a implementar, con el fin de reducir al mínimo las descargas. Un beneficio no ambiental que puede resultar de estos esfuerzos es la reducción del consumo de reactivos, con la consecuente disminución de los costos operativos.

Los límites de exposición, umbrales de toxicidad acuática y otras concentraciones máximas a las que se hace referencia en esta guía atienden a estándares actualmente en uso en los Estados Unidos, de acuerdo con lo desarrollado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Por tanto, la información

presentada tiene un valor referencial. Por lo general, los estándares estadounidenses incorporan factores de seguridad razonables dentro de los límites señalados de exposición de personas y toxicidad acuática que han sido incluidos en esta guía en su condición de resultados del desarrollo regulator y normativo. Los cuadros que muestran los límites de exposición y concentraciones máximas aparecidos en el Anexo de este documento, constituyen un patrón de comparación y son sólo referenciales.

1.2 Prácticas Antiguas y Actuales

El Ministerio de Energía y Minas ha clasificado a la industria minero-metalúrgica en categorías sobre la base de su volumen de producción y si los minerales son metálicos o no metálicos. El Cuadro 1.2.1 resume las categorías.

Una elevada proporción del tonelaje minado en el Perú proviene de las operaciones de la mediana y gran minería, y la pequeña minería agrupa al mayor número de operaciones. Si bien algunos reactivos, que normalmente se utilizan en complejos mineros grandes, no pueden ser empleados en muchas minas de menor tamaño, también se da el caso de que muchos compuestos químicos que se usan en minas de menor tamaño, como los productos derivados del petróleo, se utilizan en minas de mayor tamaño. Las pautas presentadas en este documento son genéricas y han sido estructuradas de modo tal que puedan ser aplicadas en operaciones mineras pequeñas o grandes, dependiendo del tipo de reactivo utilizado.

Se ha abarcado también dentro de los alcances de esta guía a las fundiciones.

Las prácticas de manejo de reactivos varían de planta en planta. En un lugar el manejo puede ser óptimo, sin embargo, en otros pueden dejar que desear e incluso haber causado efectos

ambientales nocivos. Como regla general, en una operación minera pequeña, no se dispone de mayor información sobre el impacto ambiental; la cantidad de recursos disponibles para cumplir con los reglamentos y prácticas de manejo apropiado es también menor. Por tanto, resulta imprescindible educar a los trabajadores sobre el uso y manejo adecuado de los reactivos, lo cual debe ir acompañado del compromiso de la gerencia para su implementación y continuidad. Se debe mantener en el lugar los Formatos de Datos de Instrucción de Seguridad que describen cada producto utilizado en la planta, así como la potencial toxicidad e impactos ambientales resultantes de la exposición a estas sustancias. Parte del programa de educación al trabajador debe incluir el uso y comprensión de los formatos de seguridad para todos los compuestos químicos involucrados.

Resulta importante reconocer que las mejoras en el cuidado y manejo de los reactivos y demás compuestos químicos dará como resultado una mejora general en los niveles de salud y seguridad de los trabajadores, el bienestar de los vecinos de la zona de operaciones, así como una mejor protección ambiental.

1.3 Uso de la Guía

La presente guía ha sido elaborada con el fin de que sus recomendaciones sean tomadas en consideración en el diseño de áreas y métodos de almacenamiento, manejo y disposición de reactivos, así como de compuestos químicos en instalaciones mineras existentes y futuras.

La guía ha sido subdividida teniendo en consideración las diversas categorías de los reactivos y compuestos químicos, control de derrames, así como manejo de aguas pluviales. Los temas de manejo de aguas pluviales (de tormentas) y control de derrames se aplican a cada operación, mientras que la categorización de reactivos químicos se usa de acuerdo con las condiciones específicas de cada zona. No es aconsejable que todas las plantas tengan el mismo plan de manejo de agua de tormenta o de derrame, sino que cada operación cuente con planes que se adapten a sus necesidades.

1.4 Definiciones

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Especialistas Gubernamentales en Higiene Industrial).

Acondicionadores - son aquellas sustancias añadidas a la pulpa para mantener un pH adecuado (medida de acidez o alcalinidad de la pulpa) en la protección de algunas sales como el NaCN, que podrían descomponerse en un circuito ácido. El hidróxido de sodio, carbonato de sodio y óxido de calcio (cal) son los acondicionadores más comunes, debido a que la mayoría de pulpas de flotación son alcalinas.

Diluyente de Extracción - es el líquido inerte utilizado para disolver el extrantante orgánico del metal, con el fin de extraer a partir de una solución. Este debe ser prácticamente inmiscible con el agua. El kerosene, por ejemplo es un diluyente universalmente utilizado.

Reactivo para Extracción por Solventes - es un líquido orgánico que atrapa el o los iones de un mineral valioso o metal que se encuentran en la solución del proceso.

Espumantes - son sustancias utilizadas en procesos de flotación que confieren una mayor resistencia a las burbujas de aire como consecuencia de la reducción de la tensión superficial. Entre los espumantes más comunes se tiene el aceite de pino y el ácido crecílico. Los espumantes comunes son aceite de pino, ácido crecílico, ciertos alcoholes como el MIBC (Metil Isobutil Carbinol) y los del tipo glicol que son solubles en agua.

Solventes de Hidrocarburos Halogenados - este tipo de solventes para limpieza industrial incluyen los cloruros, fluoruros, bromuros y yoduros que contienen solventes a base de hidrocarburos.

Punto de Inflamación - es la mínima temperatura en la cual un líquido emite vapor dentro de un recipiente de prueba en una concentración suficiente para formar una mezcla inflamable al contacto con el aire cerca a la superficie del líquido.

LC50 o LD50 - es aquella concentración letal o dosis letal de un contaminante que causa una mortalidad del 50 por ciento entre los organismos de prueba sometidos a la acción del contaminante durante un lapso establecido de tiempo, generalmente 96 horas.

Modificadores - son los reactivos utilizados para controlar la alcalinidad y eliminar los efectos nocivos de los materiales coloidales y las sales solubles. Se encuentran

también incluidos aquellos compuestos que aumentan la atracción específica entre los agentes colectores y la superficie de partículas; o recíprocamente, aquéllos que incrementan la mojabilidad de estas superficies.

Solventes de Hidrocarburos No Halogenados - este tipo de solventes de limpieza industrial abarca todos los solventes de hidrocarburos sin cloro, bromo ni yodo. El término "hidrocarburo" se refiere a hidrocarburos alifáticos, aromáticos y de cadena abierta recta.

Promotores (Colectores) - son compuestos heteropolares que contienen un grupo hidrógeno-carbono y un grupo ionizado, han sido elegidos por su capacidad para adsorber selectivamente en procesos de flotación por espumas y hacer la superficie adsorbente relativamente hidrofóbica.

Extracción por Solventes - es un método de extracción de metales que consiste en la separación de una o más sustancias de una mezcla, mediante el tratamiento de la solución impura que las contiene por medio de un solvente que extraerá ciertas sustancias sin atacar a otras.

TLV - TWA - el Valor Inicial Límite (Threshold Limit Value - TLV) - y el Promedio Ponderado de Tiempo Calculado (Time Weighted Average - TWA) es la concentración normal durante un día útil de 8 horas y una semana de trabajo de 40 horas; a la que todos los trabajadores pueden encontrarse expuestos cotidianamente sin que se produzcan efectos adversos.

TLV - STEL - el Valor Inicial Límite (Threshold Limit Value - TLV) - y Nivel de Exposición de Corta Duración (Short Term Exposure Level - STEL)- es la concentración a la cual los trabajadores pueden estar expuestos por un período de 15 minutos sin sufrir irritación ni daños crónicos o irreversibles en el tejido. El TLV -STEL de 15 minutos es un nivel de exposición el cual no deberá ser excedido en ningún momento.

CATEGORIZACION DE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS

2.0 Categorización de los Compuestos Químicos y de Reactivos

2.1 Productos derivados del Petróleo

2.1.1 Descripción y Uso de los Reactivos

Introducción - Casi en todas las minas, plantas y fundiciones se emplean productos derivados de petróleo. Muchos trabajadores se encuentran de una u otra forma familiarizados con el uso y manejo de estos productos. Los usos más frecuentes de los productos derivados de petróleo son: (1) combustible para motores a gasolina y diesel, (2) combustible para calderos y otras fuentes de calor, (3) lubricantes y fluidos para hacer funcionar máquinas y equipos, (4) aditivos para el circuito de molienda (vapor de aceite), (5) solventes del taller de mantenimiento y (6) diluyentes para extracción por solventes.

Descripción - Por lo general, los productos derivados del petróleo se clasifican de acuerdo con su punto de inflamación. Por lo general, los más peligrosos son aquellos compuestos que tienen un punto de inflamación más bien bajo. Asimismo, los derivados del petróleo con bajo punto de inflamación tienen densidades de vapor mayores que el aire, por lo que, se acumulan en zonas bajas, pudiendo causar explosiones y una deficiencia de oxígeno en la atmósfera aledaña. En el caso de los hidrocarburos con un punto de inflamación más alto la presión de vapor no es suficiente para originar peligros de explosión; este es el caso, por ejemplo, del aceite lubricante.

2.1.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

En el Cuadro 2.1.1 (véase Anexo) se resume las características físicas y químicas, así como los límites de exposición adecuados para la seguridad de los trabajadores en el uso de productos derivados del petróleo. De acuerdo con lo presentado en el Cuadro 2.1.1, las propiedades físicas y químicas varían considerablemente. Por ejemplo, el punto de inflamación de la gasolina es de 46° C, que es muy bajo, lo que indica una tendencia significativa de la gasolina a emitir vapores explosivos aún a bajas temperaturas. Por otro lado, los aceites lubricantes poseen un alto punto de inflamación (186° C), lo que indica que la generación de vapores explosivos sólo se da a altas temperaturas.

Todos estos productos son inmiscibles con el agua, excepto en el rango de algunas partes por millón; no obstante, son biodegradables con el tiempo.

Los límites de exposición se aplican con mayor frecuencia a los hidrocarburos con bajo punto de inflamación, tales como la gasolina, ya que en el caso de los compuestos con un punto de inflamación más alto la presión de vapor no llega a representar una amenaza para las condiciones

ambientales. Los empleados expuestos a la gasolina durante largos períodos deben ser examinados para verificar que no hayan sido excedidos los TLV-TWA.

2.1.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Efectos en la Salud - Frecuentemente en estos productos a mayor punto de inflamación, menor es su toxicidad. Este hecho se debe a la mayor presión del vapor de los reactivos de menor punto de inflamación. El aumento de la concentración de gases y vapores de los productos de bajo punto de inflamación en el centro de trabajo puede llegar eventualmente a niveles explosivos o tóxicos.

La inhalación de gasolina tiene un efecto entre mediano a altamente tóxico. La exposición reiterada o prolongada de la piel produce dermatitis y en algunos casos ampollas. Su inhalación e ingestión oral produce depresión en el sistema nervioso central. La aspiración pulmonar puede originar neumonitis grave. Incluso una breve inhalación de altas concentraciones puede causar un edema pulmonar mortal y asfixia. Asimismo, la gasolina puede producir hiperenemia de la conjuntiva y otras molestias en los ojos.

Efectos Ambientales - las evidencias de campo y de laboratorio han demostrado que los combustibles causan efectos adversos en las formas de vida acuática que van de la toxicidad letal grave a la toxicidad subletal (casi letal) a largo plazo. Debido a la

amplia variedad de compuestos incluidos en la categoría de combustibles, resulta imposible establecer valores significativos de LC50 de 96 horas para aceites y grasas sin especificar el producto al que se está haciendo referencia. Muchos fabricantes han desarrollado datos sobre la toxicidad específica de sus productos en la vida acuática.

Sin embargo, de acuerdo con los datos que se presentan en el Cuadro 2.1.2, la categoría más susceptible de organismos es la larva marina, que no resiste la contaminación por petróleo, en especial los compuestos solubles en agua, aun en concentraciones del orden de 0.1 mg/l. Asimismo, el Cuadro 2.1.2 indica que las especies de agua dulce tienden a ser más sensibles que las especies de agua salada, y que los compuestos más volátiles son más tóxicos que los compuestos menos volátiles y de peso molecular más alto. De manera general, en toda descarga de agua no debe haber presencia visible de hidrocarburos, los que pueden ser reconocidos como un "manto brillante".

Los derrames o descargas de los productos derivados del petróleo al suelo pueden llegar a la napa freática y constituir una fuente de contaminación del agua subterránea por muchos años. Los combustibles y lubricantes utilizados deben ser recogidos y luego incinerados o reciclados. El combustible de desecho no debe ser empleado para eliminar el polvo de los caminos. La presencia de contaminantes como el plomo de los aditivos del petróleo, así como los efectos de los combustibles o lubricantes en sí tendrán un impacto las aguas superficiales y subterráneas.

Los problemas relacionados con los incendios son bastante conocidos y no serán tratados en la presente guía, sólo se enfatizará que no se debe emplear la gasolina como un solvente de taller debido a su volatilidad y potencial riesgo de explosión.

Todos los productos líquidos derivados del petróleo que se almacenan a granel, (por ejemplo, contenedores con una capacidad mayor de 415 litros) deben contar con un dispositivo de contención secundaria dotado de revestimiento impermeable y un sistema de bermas. Los derivados del petróleo con puntos de inflamación mayores de 38C, tales como el combustible diesel, pueden almacenarse en el lugar en contenedores más pequeños. La gasolina no se debe almacenar dentro de instalaciones debido al peligro de explosión. Además, ésta se debe almacenar en tanques especialmente diseñados para el almacenamiento de líquidos inflamables. Dichos tanques deben tener orificios de ventilación para evitar el aumento de la presión durante períodos de mayor temperatura y estar contruidos con materiales resistentes a las perforaciones y a las chispas.

2.2 Reactivos de Flotación

Introducción - los reactivos de flotación representan el grupo más diverso de compuestos utilizados en la industria minero-metalúrgica. Normalmente, los reactivos de flotación son compuestos de base orgánica que pueden ser clasificados de acuerdo con las siguientes categorías:

- q Promotores/Colectores;
- q Acondicionadores;
- q Espumantes;
- q Modificadores;

q Depresores; y

q Otros

Todos los colectores aniónicos comúnmente utilizados para los minerales sulfurosos son muy similares en estructura y pueden mencionarse de la siguiente manera:

v Ditiocarbonatos (xantatos)

v Tianocarbonatos

v Ditiofosfato

v Tiocarbonilido

Los colectores aniónicos para minerales no sulfurosos.

v Acidos grasos

Los colectores catiónicos para minerales no sulfurosos.

v Aminas

Espumantes

Los principales son:

q Aceite de pino (Terpinol)

q Acido cresílico (Xilenol)

q Alcoholes de Alto Carbono (MIBC)

q Glicoles (solubles en agua)

Modificadores

pH - Cal

 Ceniza de soda (carbonato de sodio)

 Soda cáustica

 Acido

Modificadores de Superficie

 Ba, Ca, Cu, Pb, Zn

SO₃, PO₃, CN, CO₃, S

Dextrina, almidón y quebracho

Dentro de los modificadores de superficie se ha incluido a los agentes activadores y depresores.

En la actualidad, se encuentran disponibles en el mercado algunos agentes colectores de estructura diferente, pero en cantidad limitada.

2.2.1 Descripción y Uso de los Reactivos

En la Sección 2.2 se presenta las definiciones de los diversos agentes de flotación. Todos los reactivos de flotación se utilizan en el circuito de molienda y celdas de flotación, siendo descargados bajo la forma de aguas de proceso a un cuerpo receptor,

a menos que el proceso opere con descarga cero. Por tanto, a no ser que los reactivos de flotación sean neutralizados, destoxificados o eliminados, éstos serán descargados con el agua del proceso, pudiendo ocasionar la degradación de la calidad del agua, así como niveles peligrosos de toxicidad aguas abajo.

Uso - casi todos los productos derivados del petróleo se utilizan con toda su fuerza. Normalmente, su almacenamiento es en cilindros de 210 litros (55 galones), como por ejemplo, las grasas, lubricantes pesados y aceites de transmisión o en tanques de almacenamiento a granel para productos de alto consumo, como la gasolina, petróleo diesel y algunos aceites lubricantes más ligeros.

Cuando el almacenamiento se realiza en cilindros, las áreas de trasvase y utilización deben contar con mecanismos de contención o control de derrames; igualmente, se debe contar con equipos de protección y contra incendios. Los letreros deben ser legibles y estar ubicados de tal manera que permitan la rápida identificación de los productos. Todos los cilindros deberán contar con su respectiva identificación.

Asimismo, todo el personal que trabaje en el área de almacenamiento o que tenga acceso a productos de esa área, debe estar debidamente entrenado para su apropiado uso y manipuleo, así como para poder hacer frente a situaciones de emergencia. No deberá almacenarse la gasolina y demás productos de bajo punto de inflamación en los locales cerrados.

Todos los tanques de almacenamiento a granel, ubicados en superficie, deberán contar como protección ante la eventualidad de derrames con un sistema de revestimiento con una capacidad equivalente al de 110 por ciento del volumen del mayor tanque de almacenamiento ubicado dentro del área con berma. El revestimiento o berma puede ser construido con tierra recubierta con una capa de arcilla o plástico impermeable, concreto o asfalto. La identificación del producto debe ser fácilmente visible y legible, se deberá capacitar a los empleados sobre el manejo y respuesta en caso de emergencias.

El buen estado de todo tanque de almacenamiento subterráneo (incluyendo tuberías bajo tierra) deberá ser evaluado con cierta periodicidad. Cuando menos, se deberá comparar los registros de inventario de llenado y uso, con el fin de descartar la existencia de goteras en el sistema del tanque. Por lo menos una vez cada dos años deberá verificarse la presión y hacerse una evaluación del buen funcionamiento del sistema de bombeo. Asimismo, se deberá evaluar periódicamente que la protección

galvánica de todos los revestimientos metálicos bajo tierra se encuentre en buenas condiciones.

2.2.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

Debido a la gran cantidad de compuestos incluidos dentro de esta categoría, se ha realizado un esfuerzo para agrupar, en primer lugar, los compuestos según las seis categorías antes señaladas y en segundo lugar, de acuerdo con su tipo químico. Para aplicaciones similares se utiliza una gran variedad de productos, los cuales se venden bajo diferentes nombres de marca, sin embargo, se trata de miembros de la misma familia de compuestos.

En los Cuadros 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 y 2.2.5 se presenta una relación de los compuestos y reactivos más utilizados acuerdo con las categorías antes mencionadas. El Cuadro 2.2.6 (véase Anexo) presenta características físicas, químicas y límites de exposición para los trabajadores en base a la clasificación química general o familia de compuestos. En el Cuadro 2.2.7 (véase Anexo) se presentan las características ambientales y toxicológicas para estas mismas familias.

2.2.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Introducción - los efectos en la salud e impacto ambiental, asociados con el uso de reactivos de flotación, fluctúan entre mínimos a moderados.

No obstante, es posible que el uso de los reactivos de flotación, sin tener en consideración los requisitos mínimos de protección personal, pueda producir efectos adversos a la salud. Si bien el riesgo de exposición durante períodos cortos puede no ser significativo, sin embargo, en el caso de reiteradas exposiciones se cuenta con información documentada sobre los efectos adversos en pruebas efectuadas con animales. El uso y manipuleo responsable de los reactivos de flotación minimiza los potenciales impactos entre el personal de operaciones y, por consiguiente, el medio ambiente.

Efectos en la Salud - los efectos en la salud debido al uso de reactivos de flotación han sido documentados mediante pruebas de laboratorio realizadas con animales. La ejecución de estas pruebas condujo al desarrollo de límites de exposición, tales como los Valores Iniciales Límites (Threshold Limit Values - TLV) y los Niveles de Exposición en Períodos Cortos (Short Term Exposure Levels - STEL), y su propósito es establecer los límites de concentración a los que los trabajadores pueden ser expuestos.

La transgresión de dichos límites de exposición podría causar trastornos en la salud de los trabajadores, tales como irritación de la piel y pulmones, o la formación de acumulaciones en los tejidos del cuerpo.

El uso y el manejo responsables de los reactivos de flotación puede ser puesto en práctica mediante el uso de ropa de trabajo y controles técnicos apropiados, tales como las cubiertas de descarga y el aislamiento del proceso. Se deberá seleccionar el equipo teniendo como base el tipo de exposición.

Con el fin de asegurar que los efectos en la salud del trabajador sean mínimos, se deberá desarrollar e implementar programas de capacitación en los que se exponga en forma resumida al personal los potenciales efectos dañinos en la salud, causados por los reactivos en uso en las operaciones. Dicha capacitación ayudará a la correcta comprensión de los posibles efectos en la salud y la necesidad de usar apropiadamente el equipo protector, como respiradores, guantes y ropa especial. En

general, aumentará considerablemente la comprensión por parte del trabajador respecto al uso apropiado de los reactivos de flotación y los métodos de protección personal más adecuados.

El área donde es más probable que los trabajadores se encuentren expuestos a los agentes de flotación es el área de preparación de reactivos. En estos lugares los reactivos se encuentran en bruto y en altas concentraciones, por lo que es más probable que causen efectos nocivos para la salud. Se deberá desarrollar procedimientos operativos que incluyan el manipuleo de reactivos en bruto. La implementación de estos procedimientos operativos deberá darse preferentemente bajo la forma de capacitación.

En el caso de los reactivos de flotación, los riesgos de incendio y explosión para las mezclas y concentraciones diluidas (tanques de servicio) son mínimos siempre que se sigan los procedimientos adecuados de almacenamiento, prevención de derrames y primeros auxilios. Asimismo, se capacitará al personal y se le mantendrá actualizado sobre la correcta implementación de los procedimientos.

Efectos Ambientales - el impacto ambiental de los derrames de espumantes, modificadores, acondicionadores y promotores es mínimo, si se toman en consideración los procedimientos adecuados de prevención de derrames y almacenamiento. Sin embargo, el impacto ambiental más grave que podría producirse en el caso de una descarga descontrolada de reactivos de flotación sería que éstos entren en contacto con ríos, arroyos o lagos adyacentes. En un caso como éste el reactivo podría ser tóxico para la vida acuática. Los usuarios que se encuentren aguas abajo (agua para riego y potable) también podrían verse negativamente afectados por estos elementos.

También pueden registrarse impactos en otros elementos constitutivos del ambiente, como los suelos, el agua freática y la vegetación. Las descargas descontroladas en el suelo no representan un daño grave; sin embargo, de no procederse a la limpieza o a controlar dichas descargas la responsabilidad ambiental es mayor, sobre todo si la vegetación o el agua subterránea se ve afectada. Más aún, las reiteradas descargas sin control hacia la napa freática pueden originar efectos costosos y difíciles de remediar en el largo plazo.

Los reactivos de flotación no se caracterizan por su alta volatilidad y, por lo que, no representan un peligro significativo en términos de emisiones atmosféricas.

Sin embargo, el uso de reactivos en procesos de flotación puede dar origen a emisiones molestas en el aire del área de trabajo. Se pueden utilizar controles técnicos como la ventilación industrial o instrumentos para el monitoreo de la calidad del aire con el propósito de caracterizar y controlar las emisiones.

Cada planta debe contar con un plan específico de prevención de derrames y de respuesta en caso de emergencias, el cual será de gran utilidad para comprobar y establecer la idoneidad de las instalaciones de almacenamiento y contención de derrames con que se cuenta para asegurar la protección ambiental, especialmente en el área de preparación de reactivos.

La potencial toxicidad de los reactivos de flotación en la vida acuática aguas abajo de las instalaciones puede servir como un parámetro de control que permita establecer niveles permisibles para la descarga de aguas residuales. Por lo general, una mina o fundición descarga aguas de proceso

que pueden contener concentraciones residuales de reactivos de flotación. En caso que las concentraciones respectivas excediesen los niveles tóxicos para la vida acuática, sería necesario tratar estas aguas para eliminar estos reactivos de la descarga. Por tanto, la protección ambiental presupone la protección y cuidado de los cuerpos receptores que discurren aguas abajo.

2.3 Reactivos de Lixiviación

2.3.1 Descripción y Uso de los Reactivos

Para efectos de esta guía, la lixiviación comprende tanto la disolución inicial de metales a partir del mineral por un agente lixivante, por ejemplo, cianuro, así como la mejora, mediante lixiviación de las características de un concentrado, por ejemplo, remoción de plomo a través de la lixiviación de ácido clorhídrico caliente (HCl).

El cianuro de sodio (NaCN) y ácido sulfúrico (H₂SO₄) son los dos agentes de lixivantes utilizados en mayores cantidades. El cianuro, sea de sodio, calcio o potasio, se emplea para recuperar minerales de oro y plata. Los minerales de menor ley son sometidos al proceso de lixiviación en pilas, en tanto los minerales de mayor ley van de un proceso de molienda para recuperar la primera fracción de metal usando métodos gravimétricos (mesas vibratorias o espirales), posteriormente el mineral es tratado por medio del proceso de carbón en pulpa o Merrill-Crowe. Luego de la separación de gravedad, se agrega cianuro para disolver los metales preciosos.

El ácido sulfúrico se utiliza principalmente en la lixiviación en pilas de minerales de cobre de baja ley. La solución de lixivante en su contenido de ácido sulfúrico pasa gradualmente a través de la pila de mineral disolviendo el cobre a su paso. La solución rica es recolectada y tratada mediante extracción por solventes y electrodeposición, con el fin de recuperar cátodos de cobre.

La solución barren que contiene ácido sulfúrico se repotencia con H₂SO₄ fresco para luego recircularla a las pilas de lixiviación para dar nuevamente inicio al proceso de lixiviación.

2.3.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

El Cuadro 2.3.1 (véase Anexo) resume los reactivos frecuentemente utilizados para la lixiviación, los límites de exposición, rangos comunes de uso y las características químicas.

2.3.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Acido Sulfúrico

Efectos en la Salud - se debe tener especial cuidado cuando se trabaje con ácido sulfúrico concentrado. Es necesario estar totalmente protegido con ropa de goma, cobertor para la cara, guantes y botas. Este ácido puede liberar dióxido de azufre gaseoso, cuyo nivel de toxicidad es bastante alto y al contacto con el cuerpo ocasiona graves quemaduras. El contacto reiterado con soluciones diluidas puede producir dermatitis, en tanto la inhalación prolongada o frecuente del vapor de ácido sulfúrico puede causar una inflamación del aparato respiratorio superior, que puede conllevar a una bronquitis crónica.

El ácido sulfúrico es un oxidante ácido muy potente que se inflama e incluso puede explotar en contacto con muchos materiales, entre ellos ácido acético, hidróxido de

amonio, cal, glicol etileno y muchos otros compuestos. Cuando se le mezcla con agua produce una reacción bastante exotérmica. Para evitar el riesgo de una potencial explosión, no se deberá añadir agua al ácido concentrado. El ácido deberá ser agregado al agua.

Efectos Ambientales - el principal impacto ambiental del ácido sulfúrico es sobre el pH del agua. El rango de pH acuoso que no es del todo letal para los peces es de 5-9. Por debajo de un pH de 5.0 se produce una rápida disminución de las especies de peces y de la biota que los sustenta. El impacto ambiental secundario del ácido sulfúrico está en que su presencia que incrementa la toxicidad de otros contaminantes, tales como los sulfuros y los metales, a través de su disolución.

Se deberá neutralizar, a la brevedad posible, los derrames de ácido sulfúrico en el suelo. Es normal que una fracción significativa del ácido derramado en el suelo sea neutralizada por los constituyentes del propio suelo. Sin embargo y como medida precautoria, se deberá añadir cal para completar la neutralización.

Por lo general, el ácido sulfúrico es transportado en camiones cisterna y almacenado en instalaciones en la superficie para almacenamiento a granel. La concentración de ácido entregado se encuentra entre el 93 y 95 por ciento de H_2SO_4 , mientras las concentraciones excedan el 90 por ciento; puede utilizarse acero corriente para los materiales de construcción. Todas las instalaciones para productos a granel deberán contar con dispositivos de contención secundaria y estar contruidos de material que no reaccione (y por lo tanto reduzca la fuerza del H_2SO_4) con el ácido. Se deberá desarrollar procedimientos especiales para la descarga del ácido para reducir al mínimo los posibles derrames y el riesgo de daños a los trabajadores.

Compuestos de Cianuro

Efectos en la Salud - debido a la toxicidad del cianuro, todas las personas que trabajen con estas soluciones deben conocer al detalle esta sustancia y respetar las prácticas de seguridad establecidas. El cianuro de sodio, por ejemplo, es un veneno de rápido efecto que puede producir la muerte aún en bajos niveles de exposición. Su efecto tóxico es el resultado de la inhibición de ciertos procesos específicos de las células del cuerpo debido a la restricción del uso de oxígeno en la respiración, especialmente en las células del cerebro y del corazón. Puede producirse envenenamiento luego de haber aspirado gas, polvo o solución de cianuro, así como mediante la absorción principalmente a través de los ojos y otras membranas, de la piel, los pies y por ingestión. El contacto con la piel puede causar irritación y envenenamiento. El cianuro de sodio es alcalino y produce quemaduras en los ojos.

El cianuro no es un veneno acumulativo, por lo que no se cree que presente efectos crónicos de envenenamiento con cianuro, salvo casos de exposiciones repetidas y prolongadas muy por encima de los límites de exposición establecidos. Con un adecuado y rápido tratamiento, la recuperación de la sobreexposición es generalmente rápida y total.

Los compuestos de cianuro en contacto con ácidos liberan ácido cianhídrico (HCN) gaseoso. Es por esta razón que las soluciones de cianuro deberán mantenerse a un pH de 12. Para valores de pH por debajo de 11.5, se comenzará a emitir cianuro de hidrógeno gaseoso. La Guía Ambiental de Manejo de Cianuro ilustra la ecuación de equilibrio de HCN como una función del pH. Como se puede apreciar en la figura, la reducción del pH por debajo de 10.2 origina cambios significativos en el HCN.

Síntomas de Envenenamiento con Cianuro:

- q Ojos enrojecidos q Náuseas
- q Irritación de la garganta q Dolor de cabeza
- q Palpitaciones del corazón q Debilidad en brazos y piernas
- q Respiración dificultosa q Mareos
- q Salivación q Desmayo
- q Aturdimiento q Convulsiones

Primeros Auxilios para casos de Envenenamiento con Cianuro - se recomiendan los siguientes procedimientos para los casos de exposición vía inhalación, ingestión o absorción a través de la piel o membranas.

INHALACION:

Totalmente consciente

- q Suministrar oxígeno

Inconsciente/No del todo consciente

- q Administrar inmediatamente nitrato de amilo y oxígeno

Sin respiración

q Administrar inmediatamente nitrato de amilo y oxígeno; forzar la respiración con resucitador de oxígeno o respiración artificial.

INGESTION:

Consciente

- q Administrar 2 vasos con 1 por ciento de tiosulfato de sodio o agua corriente.
- q Induzca el vómito introduciendo el dedo en la garganta.
- q Administrar para inhalación nitrato de amilo y oxígeno.

Inconsciente/Sin respiración

- q NO ADMINISTRE NADA POR VIA ORAL a una persona inconsciente.
- q Administrar inmediatamente nitrato de amilo y oxígeno
- q Induzca el vómito (de la misma manera antes señalada).

ABSORCION A TRAVES DE LA PIEL Y/O MEMBRANAS:

- q Administrar por inhalación nitrato de amilo y oxígeno.

- q Retirar la ropa contaminada y lavar la piel.
- q Echar a la víctima boca abajo y mantenerla abrigada.
- q Observar a la víctima por lo menos 1 ó 2 horas.

PARA ADMINISTRAR NITRATO DE AMILO:

Personal de Rescate :

El nitrato de amilo es inflamable. ¡Retire todas las fuentes de calor y no fume! Para evitar el mareo, no inhale el nitrato de amilo.

Si está respirando:

1. Rompa la ampolla en la gasa o tela.
2. Mantenga la ampolla en la gasa o tela bajo la nariz durante 15 segundos, luego la retira durante otros 15 segundos.
3. Repita el paso dos (anterior) cinco ó seis veces por ampolla, utilizando una ampolla nueva cada 3 minutos si fuera necesario.
4. Continúe el tratamiento hasta que la víctima recobre la consciencia o hasta que llegue el apoyo médico. Evite utilizar demasiado nitrato de amilo.

Si no está respirando:

1. Rompa la ampolla en la gasa o tela.
2. Coloque la ampolla y la gasa en el borde de la máscara del resucitador de oxígeno para evitar que choque la ampolla con la garganta y coloque la máscara a la víctima.
3. Fuerce la respiración profunda con el resucitador: una respiración cada 4 ó 5 segundos. Deje la ampolla dentro durante tres respiraciones, retírela durante otras tres respiraciones.
4. Repita el procedimiento 5 ó 6 veces por ampolla, utilizando una nueva ampolla cada 3 minutos.
5. Continúe el tratamiento hasta que la víctima esté consciente o llegue el médico. Evite usar el nitrato de amilo en exceso.

Toda planta en la que se trabaje cotidianamente con cianuro, en cantidades mayores que las requeridas por un laboratorio, deberá contar con un manual completo de seguridad y con programas de capacitación para el correcto manipuleo de reactivos, además de planes de contingencia. Sobre el particular consulte con la Guía Ambiental de Manejo de Cianuro.

Los compuestos de cianuro, tales como cianuro de sodio, son transportados principalmente en forma sólida, por ello, cualquier accidente o derrame durante su traslado puede ser rápidamente limpiado, siempre que el derrame no haya afectado a un curso de agua. De ser así, se deberá informar inmediatamente a los usuarios y las

poblaciones ubicadas aguas abajo del cuerpo receptor/curso de agua. Asimismo, se deberá implementar adecuados procedimientos de destoxificación de rigor, tales como oxidación con soluciones de peróxido de hidrógeno o hipoclorito de calcio.

Impacto Ambiental -la toxicidad del cianuro es fundamental en la inhibición del metabolismo de oxigenación, por ejemplo, impide que los tejidos puedan intercambiar oxígeno. El cianuro es altamente tóxico para la mayoría de peces, en concentraciones que van de 50 a 200 ug/l, y produce algunos efectos nocivos en concentraciones tan bajas como 10 ug/l. Cabe señalar que sólo el HCN no disociado inhibe el consumo de oxígeno en los tejidos, causando la asfixia celular. La forma no disociada predomina en valores de pH menores de 8.0.

El ion cianuro se combina con diversos iones de metales pesados para formar complejos tóxicos llamados metalocianuros, los que pueden acumularse en el medio ambiente. La estabilidad de estos aniones es altamente variable. Aquéllos formados con zinc y cadmio no son estables. La disociación y producción del ácido cianhídrico en medios casi neutros o ácidos es rápida. A su vez, algunos de los aniones metalocianúricos son extremadamente estables. El cobaltocianuro es difícil de destruir, requiriendo de destilación ácida altamente destructiva en laboratorio. Los cianuros del hierro también son muy estables, pero son susceptibles a la fotodescomposición. Ante la presencia de la luz solar se disocian para liberar el ion cianuro, el cual es tóxico; en la noche la reacción puede revertirse para producir una forma o estado menos tóxico.

Acido Clorhídrico - al igual que el ácido sulfúrico, el ácido clorhídrico debe manipularse con sumo cuidado. El HCl concentrado emitirá un cloro gaseoso, especialmente cuando es añadido a una solución o a otro compuesto químico. El gas de cloro es bastante más pesado que el aire y se asienta en áreas bajas, tales como sumideros, tanques y bases. Cuando se mezcla con agua o se le hace reaccionar con compuestos básicos, la reacción es altamente exotérmica.

Peróxido de Hidrógeno, Hipoclorito de Sodio e Hipoclorito de Calcio - todos estos compuestos son oxidantes fuertes, por lo que se debe tener gran cuidado para evitar que estos compuestos se mezclen con compuestos orgánicos, pues se produciría una explosión. En el caso del hipoclorito de calcio o del hipoclorito de sodio el pH de la solución siempre debe mantenerse por encima de 10.0 con el fin de prevenir la emisión de Cl₂ gaseoso. La reducción del pH traerá como consecuencia una rápida emisión del Cl₂ gaseoso, el cual es más pesado que el aire. El hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio son compuestos alcalinos, por lo que el cuidado y manipuleo de estos compuestos, o de soluciones que contienen estos compuestos debe regirse de acuerdo con las prácticas similares a las utilizadas en el hidróxido de sodio, la cal y la ceniza de soda.

Los derrames de hipoclorito deben ser atacados de la misma manera que los derrames de cianuro, vale decir que debe procederse a una inmediata limpieza, avisando a su vez a todas las partes potencialmente afectadas en la brevedad posible. Los derrames de peróxido no son tan costosos, puesto que el H₂O₂ se descompone rápidamente en el suelo formando compuestos inocuos.

Por lo tanto, deberá evitarse la dosificación excesiva de cloro a un cuerpo de agua.

2.4 Reactivos de Extracción por Solventes

2.4.1 Uso de Reactivos y Prácticas Recomendadas

Introducción - existen fundamentalmente dos tipos de compuestos orgánicos presentes en un proceso de extracción por solventes, estos son los solventes de extracción y los diluyentes de extracción. Dichos procesos han sido diseñados para recuperar minerales por absorción en situaciones en las que los minerales no sulfurosos de baja ley deben ser procesados y las consideraciones económicas recomiendan el uso de un proceso de extracción por solventes. El uso de solventes y diluyentes de extracción es aplicable en los casos en que se desea separar o extraer selectivamente un componente valioso, pasando de una solución de proceso a otra. La solución original que contiene las especies deseadas y la solución de la que se extraerán estas especies o contaminantes deben ser inmiscibles con el agua para que el proceso sea efectivo.

Los diluyentes de extracción por solventes se mezclan con el solvente de extracción antes de que entre en contacto con la solución que contiene el componente valioso que se desea separar para permitir su absorción por el solvente de extracción.

Los dos grupos más comunes de diluyentes son:

v Escaid Products, y

v ORFOM Products

Por lo general, los solventes de extracción pueden subdividirse en cinco grupos químicos. Cada grupo presenta los solventes más utilizados, dependiendo del tipo de compuesto, su acción es efectiva bajo diversas condiciones físicas:

q Acetonas;

q Oximas;

q Aminas;

q Sales cuaternarias; y

q "Guars"

El Cuadro 2.4.1 (véase Anexo) presenta los reactivos para extracción por solventes que se utilizan con mayor frecuencia en el procesamiento de minerales.

2.4.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

Los peligros de incendio y explosión asociados con el almacenamiento, así como el uso de solventes y diluyentes de extracción son más bien bastante moderados. Una revisión de las especificaciones del producto indica que los puntos de inflamación de muchos solventes de extracción se encuentran dentro del rango de 74 a 177 grados Celsius.

continua

CATEGORIZACION DE LOS COMPUESTOS QUIMICOS

2.4.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Acetonas - al igual que los efectos en la salud, los impactos ambientales asociados con el uso de solventes y diluyentes de extracción preparados a base de acetona se encuentran bien documentados y se les considera como moderados. Muchos de estos solventes y diluyentes poseen características narcóticas, así como nocivas, para los tejidos del cuerpo. El uso y manejo responsable de estos materiales minimiza los riesgos potenciales tanto para el personal que trabaja en las operaciones como para el medio ambiente. Cuando no va de la mano con los debidos controles técnicos y de exposición, el uso reiterado de estos compuestos ha causado efectos toxicológicos, debidamente documentados, a los animales sometidos a pruebas. Los efectos en la salud pueden incluir mareos, dolor de cabeza y trastornos respiratorios que pueden conducir a una parálisis respiratoria. No puede descartarse la posibilidad que la acumulación de vapores del solvente den como resultado atmósferas deficitarias en oxígeno. Por lo general, la recuperación en caso de exposiciones graves es total, no obstante, la exposición crónica pueda causar alteraciones patológicas permanentes.

La principal vía de exposición es el sistema respiratorio, la segunda vía de exposición es por absorción a través de la piel. El uso y manejo responsable de los agentes fabricados a base de acetona para procesos solventes contribuirá a reducir al mínimo los efectos en la salud. Deberá contemplarse el uso de dispositivos de protección de las vías respiratorias, ropa de trabajo y de controles técnicos, así como de cubiertas de descarga y el aislamiento de los procesos unitarios.

Al igual que con otros compuestos utilizados en los procesos, los potenciales efectos nocivos para la salud pueden minimizarse si se desarrolla e implementa procedimientos de seguridad operativa. Al presentar estos procedimientos como capacitación de rutina deberá describirse los efectos en la salud y los métodos para prevenir la exposición innecesaria a los reactivos usados en las operaciones.

El impacto ambiental causado por el uso frecuente de solventes y diluyentes de extracción a base de acetona varían de moderados a altos. Sin embargo, y siempre que se cumplan los planes de prevención de derrames, así como los procedimientos de almacenamiento y manejo desarrollados, el impacto en el medio ambiente puede ser mínimo. Al igual que en el caso de muchos compuestos químicos de uso industrial, lo peor que podría ocurrir es que se produzca una gran descarga descontrolada en los lagos y arroyos adyacentes. En un caso como éste podría presentarse efectos tóxicos en los organismos acuáticos. Los usuarios situados aguas abajo (agua de riego y potable) pueden verse considerablemente afectados. Los procedimientos de aviso y alerta deberán estar incluidos en los planes de prevención de derrames para permitir adoptar las acciones pertinentes con la mayor celeridad.

Las descargas descontroladas al suelo pueden también causar un daño significativo al medio ambiente. Las descargas por períodos prolongados pueden alcanzar la napa freática, imposibilitando el uso de estas aguas para riego o para consumo humano.

Oximas - los solventes y diluyentes a base de oximas causan efectos dañinos para la salud del personal en casos de ingestión y contacto con la piel. La inhalación de los solventes a base de oximas no se considera como un peligro grave; sin embargo, los efectos iniciales en el sistema respiratorio debido a los vapores transportados por el aire o el polvo pueden hacer necesario que las personas afectadas salgan al aire libre. No se cuenta con información sobre los cambios patológicos a largo plazo. Normalmente, la recuperación en casos graves de exposición a las oximas es total.

La principal vía de exposición es la piel, la segunda vía de exposición es por inhalación. El uso y manejo apropiado de solventes y diluyentes a base de oximas

incluye necesariamente el uso de guantes protectores, ropa de trabajo, respiradores y dispositivos de control. El impacto ambiental que podría producirse debido al uso cotidiano de solventes y diluyentes de extracción a base de oximas es moderado. Estos impactos pueden deberse al efecto de aguas de tormenta o la descarga de aguas de proceso. Sin embargo, al igual que en el caso de las acetonas, es necesario contar con un adecuado almacenamiento y manejo del material no utilizado, así como de las soluciones y las mezclas preparadas para ser usadas en el proceso. Por ello, el impacto ambiental es mínimo; no obstante, en el caso de una pérdida accidental, los lagos y arroyos adyacentes pueden verse afectados y la toxicidad resultante puede afectar a los organismos acuáticos. Resulta imprescindible informar a quienes usan estas aguas corriente abajo.

Otras descargas sin control, como por ejemplo al suelo, también entrañan un peligro considerable para el medio ambiente.

Asimismo, se puede dañar la vegetación adyacente y la calidad del agua subterránea.

Los procedimientos de respuesta frente a los derrames deben permitir una limpieza rápida y efectiva. La disposición final de los residuos de limpieza requerirá de un planeamiento e identificación, tanto de las opciones que permitan el consumo del material en el proceso, como de aquellas referidas a la selección del lugar de disposición fuera de las instalaciones. Las brigadas de respuesta en casos de derrames deben estar debidamente entrenadas en el uso de los implementos de protección personal necesarios para proceder a la limpieza; asimismo, las situaciones riesgosas deberán ser evitadas a toda costa.

Las instalaciones de almacenamiento de las oximas "tal como fueron recibidas" deben disponer de bermas de contención de derrames y estar ubicadas lejos del área de operaciones.

Aminas - se sabe que los solventes y diluyentes a base de aminas causan afecciones a la piel (principal vía de exposición) y que en este tipo de exposiciones se requiere de atención médica inmediata. Se conocen los efectos provocados por la inhalación e ingestión oral (vía de exposición secundaria) en grandes cantidades. En estos casos, los efectos se pondrán de manifiesto de inmediato y es imprescindible alejarse de la fuente de exposición. Al igual que en el caso de los solventes y diluyentes a base de oximas, no se cuenta con información documentada sobre los efectos patológicos de largo plazo.

El adecuado uso y manejo de los solventes y diluyentes a base de aminas incluye necesariamente el uso de ropa de seguridad para el trabajo, respiradores y dispositivos de control de emisión de vapor y partículas, por ejemplo.

El impacto ambiental producido debido al uso cotidiano de solventes y diluyentes a base de aminas es considerado como moderado. Los principales efectos ambientales causados por una descarga sin control se producen en los lagos y arroyos adyacentes. El grado de toxicidad para los organismos acuáticos puede llegar a un nivel de exposición alto/grave (0.3 mg/l) o a un nivel crónico de exposición (0.15 mg/l).

Los procedimientos de respuesta frente a derrames incluirán medidas para su contención inmediata. El adecuado entrenamiento de las brigadas de respuesta frente a los derrames es vital para asegurar un manejo rápido y efectivo frente a cualquier incidente. El propósito de una respuesta inmediata es minimizar el riesgo de daños personales y al medio ambiente. En principio, la disposición final de los residuos de limpieza se centrará en formas de utilizar estos materiales en el proceso. Se deberá

evitar la disposición fuera de las instalaciones en caso que no se cuente con las facilidades necesarias para la disposición de desechos. Los costos asociados a la disposición de estos residuos pueden resultar onerosos.

Las instalaciones para el almacenamiento de solventes y diluyentes de extracción, a base de aminas, deberán contar con estructuras de contención y estar ubicadas lejos del área de operaciones, en la que podría producirse flamas o un calor extremo.

Sales Cuaternarias - los solventes y diluyentes de extracción a base de amoníaco cuaternario causan efectos más graves en la salud cuando son inhalados o entran en contacto con la piel. La ingestión accidental en grandes cantidades requerirá de atención médica inmediata.

Los riesgos potenciales para la salud pueden ser minimizados mediante el desarrollo de procedimientos operativos de seguridad e higiene industrial. Cuando se implementan debidamente estos procedimientos, se reduce de manera significativa el número de casos que requieren tratamiento médico debido al uso de las sales cuaternarias.

El impacto ambiental ocasionado por el uso de solventes y diluyentes de extracción a base de amoníaco cuaternario es moderado. La descarga al medio ambiente de cantidades considerables puede causar efectos nocivos en la vida acuática, afectando, asimismo, a los usuarios ubicados aguas abajo. Las descargas al suelo durante períodos prolongados pueden afectar la napa freática, con el consiguiente perjuicio para quienes utilizan estas aguas.

Los procedimientos de respuesta frente a derrames presuponen una acción inmediata de contención. La efectividad de la respuesta frente a derrames es mayor cuando se cuenta con un medio de contención de derrames dispuesto alrededor de los tanques de almacenamiento a granel. El método más efectivo para la limpieza de un derrame es recoger el líquido vertido y conservarlo para reutilizarlo en el proceso. Los otros residuos no recuperables deberán ser limpiados con arena o tierra. La mezcla obtenida deberá ser consumida dentro del proceso o eliminada apropiadamente en el lugar.

"Guar" - los solventes y diluyentes de extracción a base de "guar" sólo causan efectos menores en la salud. No obstante, el reiterado uso de éstos sin emplear protección personal puede causar irritación en los ojos, piel o en el sistema respiratorio. En casos de exposición, las principales vías de exposición son la inhalación y el contacto con la piel.

No se cuenta con información sobre impactos a largo plazo debido al uso prolongado de productos derivados del "guar". Tampoco se tiene información sobre el potencial cancerígeno o las mutaciones que podrían producirse en órganos vitales. Por tanto, no se han establecido límites de exposición para los solventes de extracción a base de "guar". La producción de una cantidad apreciable de polvo proveniente del producto puede crear una atmósfera explosiva.

El impacto ambiental originado por el uso cotidiano de productos fabricados a base de "guar" es bajo. Puesto que el usuario recibe el producto en forma sólida, no se requiere de los dispositivos convencionales para la contención de derrames; sin embargo, es necesario contar con instalaciones adecuadas de almacenamiento y manejo para asegurar que las cantidades derramadas accidentalmente no salgan fuera de las instalaciones durante su almacenamiento y manipuleo. Una vez que a

partir del material se han preparado las soluciones respectivas, los lugares de almacenamiento de éstas deberán contar con sistemas de contención de derrames, tales como diques, bermas y sumideros de emergencia.

Los procedimientos de respuesta frente a la eventualidad de derrames de productos secos se reducen al barrido y recolección del producto. La respuesta en caso de derrames es más efectiva si el área afectada es cerrada a la circulación de vehículos y personas. Dentro de las instalaciones de almacenamiento debe haber un ambiente cerrado para el almacenamiento del producto seco no utilizado, con el fin de evitar la degradación de los contenedores de transporte.

2.5 Compuestos para el Tratamiento del Agua

2.5.1 Descripción y Uso de Reactivos

Los compuestos utilizados para el tratamiento de aguas de proceso, así como para el tratamiento o pre-acondicionamiento del agua de proceso para usarla en la etapa de flotación son casi siempre los mismos. Por ejemplo, los polímeros de floculación sirven por igual para ambos fines igual sucede con la cal para el control del pH. Puesto que en la Sección 2.2. -Reactivos de Flotación, se trata en detalle acerca de los reactivos utilizados en el tratamiento del agua de proceso, en esta sección sólo se verá el tratamiento de aguas residuales, tanto de proceso como sanitarias.

Diversos procesos pueden utilizarse para el tratamiento de las aguas de proceso. Entre ellos se tiene: intercambio iónico, coprecipitación del hierro, evaporación, electrodiálisis, ósmosis inversa, sedimentación con lechada de cal y precipitación de azufre. Sin embargo, en el tratamiento de aguas residuales provenientes de minas y fundiciones, dos son los procesos más usados: lechada de cal (L&S) y precipitación de azufre.

Precipitación con Lechada de Cal (L&S) - Las diferentes secuencias del proceso de L&S y de precipitación de azufre son:

precipitación de iones metálicos, seguida de floculación, sedimentación, eliminación de agua y disposición o reciclaje de los metales precipitados. En muchos casos, se requiere que el agua residual sea filtrada antes de pasar a la etapa de sedimentación. En la Figura 2.5.1 se muestra un diagrama típico del proceso.

Figura 2.5.1 - Diagrama de Flujo del Proceso Típico de Tratamiento de Agua

Cualquier fuente de radicales oxidrilo puede ser usada para el proceso L&S y su selección será hecha sobre la base del costo y disponibilidad. Por ejemplo, se puede usar ceniza de soda, hidróxido de sodio o cal (hidróxido de calcio) como fuente de radicales (OH). Sin embargo, se deberá evitar el uso de hidróxido de amonio, ya que forma complejos con metales como el cobre y la solubilidad del metal se incrementa. La clave para la efectividad en la remoción total es el valor final del pH en la etapa de precipitación. Por lo general, el tratamiento del agua es más efectivo cuando el rango de pH se encuentra entre 10.8 y 11.0. Para este valor de pH, la concentración de metales como hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio y manganeso presente en las aguas residuales podrá ser reducida a niveles que permitan proteger la vida acuática aguas abajo. Para valores de pH por encima de 11.0, se producirá la redisolución de metales como el cobre y el plomo. A un pH por debajo de 10.0 se reducirá la cantidad de manganeso y cadmio.

Precipitación de Azufre - este proceso no es tan sensible al pH como el L&S. Diversos reactivos pueden ser empleados como fuente de azufre, como por ejemplo sulfuro de

hidrógeno gaseoso, hidrosulfito de sodio o sulfuro de calcio. En el caso de soluciones neutras o con un pH menor, se deberá contar con mecanismos de control de emisiones de H₂S, debido a que estas emisiones son peligrosas y letales aún a bajos niveles.

2.5.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

El Cuadro 2.5.1 (ver Anexo) resume los compuestos más utilizados en el tratamiento de agua, sus características físicas y químicas, niveles de exposición y dosificaciones sugeridas.

2.5.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Impacto sobre la Salud - se deben tomar precauciones similares cuando se trabaje con cal, hidróxido de sodio y ceniza de soda. Los tres se consideran como álcalis, por lo que en caso de un manejo inapropiado pueden causar graves afecciones a la vista, al sistema respiratorio o graves quemaduras de origen químico en la piel. El contacto prolongado con soluciones diluídas tiene un efecto destructivo sobre los tejidos del cuerpo. Todo contacto con la piel deberá ser tratado de inmediato limpiando el material con un fuerte chorro de agua. El personal afectado debe cambiarse de ropa, la cual debe ser enjuagada con abundante agua. Si ha habido contacto con los ojos, se deberá hacer circular agua durante 15 minutos. Se deberá proporcionar atención médica a la mayor brevedad posible. El manipuleo del sulfuro de hidrógeno gaseoso (H₂S) es mucho más peligroso que en el caso del hidrosulfuro líquido cuando se le usa como fuente de sulfuro para la precipitación de azufre, debido sobre todo a sus propiedades gaseosas y los graves efectos que acarrea para la salud. Puesto que el gas H₂S es más pesado que el aire, altamente inflamable (lel - 4%: uel - 46%) y tóxico, toda fuga que se produzca del cilindro o durante el proceso, constituye un grave riesgo para la salud y la seguridad.

El hidrosulfuro de sodio es recibido por lo general en forma de solución, por lo que es una fuente de azufre mucho más segura.

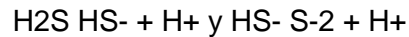
Sin embargo, se debe tener el mayor cuidado para mantener el pH de los reactivos en solución dentro del rango alcalino (pH >8.0), ya que una caída del pH por debajo de 8.0 daría como resultado la liberación de H₂S gaseoso, por lo que los problemas de salud y seguridad a presentarse son los mismos que cuando se usa H₂S gaseoso. En algunos casos la precipitación de metales debe producirse en un pH ácido. Si este es el caso, debe haber una buena ventilación, el recipiente de precipitación debe estar cerrado y debe retirarse el H₂S que pueda haber sido capturado, normalmente a través del catalizador alcalino.

Asimismo, todas las etapas siguientes del proceso deberán desarrollarse en ambientes cerrados y/o ventilados.

Impacto Ambiental - el monitoreo del pH del agua de proceso descargada proporciona información sobre el impacto ambiental potencial de la vida acuática aguas abajo, así como de los efectos para quienes usan estas aguas para irrigación y consumo humano. Lo ideal es que el pH del agua de proceso descargada o de cualquier agua residual se encuentre en un rango de 6,0 - 9,0 para proteger tanto a la vida acuática como a quienes aprovechan los recursos hídricos aguas abajo.

El sulfuro de hidrógeno es un gas soluble y altamente venenoso que tiene un olor característico a huevos podridos. El ser humano lo puede detectar en el aire diluído a concentraciones de 0.002 ppm. Se disolverá en agua a razón de 4,000 mg/l a 20 grados Celsius y a 1 atmósfera de presión. El sulfuro de hidrógeno es un compuesto biológicamente activo.

Cuando se añaden sulfuros solubles al agua, éstos reaccionan con los iones hidrógeno para formar HS⁻ o H₂S y la proporción de cada uno depende del pH. La toxicidad de los sulfuros se deriva principalmente del H₂S, más que de los iones hidrosulfuro (HS⁻) o azufre (S⁻²). Cuando el sulfuro de hidrógeno se disuelve en agua se disocia de acuerdo con las reacciones:



A un pH de 9, cerca del 99 por ciento del azufre se encuentra como HS⁻; para un pH de 7, el azufre se reparte por igual entre el HS⁻ y el H₂S; en tanto a un pH de 5 casi el 99 por ciento del azufre se encuentra como H₂S. El hecho que el H₂S en agua bien aerada se oxide, convirtiéndose en sulfatos debido a la acción de mecanismos biológicos naturales o se oxide biológicamente a azufre elemental, ha dado como resultado que los investigadores reduzcan al mínimo los efectos tóxicos causados por el H₂S en los peces y otros organismos propios de la vida acuática.

Los efectos nocivos que podría causar el azufre a la vida acuática dependen de la temperatura, el pH y la cantidad de oxígeno disuelto presente. A menores valores de pH una mayor proporción se encuentra como H₂S, tóxico e indisociado. En invierno, cuando el pH es neutro o bajo, así como cuando los niveles de oxígeno disuelto son más bien bajos, sin llegar a ser letales para los peces, el azufre se convierte en un peligro. Los peces presentan una fuerte reacción de rechazo al azufre.

Se sabe que, por lo general, los peligros que entraña el sulfuro de hidrógeno para la vida acuática son localizados y transitorios.

La información disponible indica que para concentraciones del orden de 2.0 ug/l de H₂S no disociado en agua, el peligro para muchos peces y otras especies que viven en el agua no sería mayor. Sin embargo, para concentraciones por encima de 2.0ug/l, el peligro sería más bien en el largo plazo.

2.6 Reactivos de Coquificación

Los reactivos de coquificación se utilizan para la refinación y sirven como fuente de calor y como agente reductor. De especial interés son los gases y aceites producidos durante el proceso de coquificación, especialmente si este proceso se realiza en el lugar. Los volátiles de alquitrán de hulla, principalmente la fracción soluble del benceno, son elementos cancerígenos conocidos. En estos casos se recomiendan TLV-TWA de 0.2 mg/m³.

El impacto ambiental causado por el carbón o coque es mínimo; no obstante, el daño en la vida acuática ocasionado por los aceites de hulla son similares a los de la gasolina y el kerosene. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado para evitar que estos aceites ingresen en los sistemas de aguas de proceso o de tormenta. Asimismo, las prácticas de manipuleo deben asegurar que los reactivos y productos de coquificación no sean descargados junto con la escorrentía de agua de lluvia.

2.7 Fundentes

Por lo general, no se emplean fundentes en las operaciones de minado y molienda. Una pequeña cantidad de fundente se usa para la producción de oro a fin de obtener "doré". En la fundición de matas de cobre, plomo y zinc se utiliza una buena cantidad de fundente.

Los fundentes son usados para promover la fusión de minerales y metales o bien para evitar la formación de óxidos. Por ejemplo, para la refinación de metales se añade una cantidad de fundente a la carga del horno para absorber las impurezas contenidas en el metal. Se forman escorias que flotan en la parte superior del baño, las cuales son retiradas periódicamente.

Los fundentes más comunes son la cal viva (CaO), la ceniza de soda, el carbón animal y la arena de sílice. Estos materiales presentan por lo general bajos niveles de toxicidad en los humanos y el medio ambiente; no obstante, se deben tomar precauciones para controlarlos cuando se presentan como polvo molesto. La cal viva y la ceniza de soda también irritan las mucosas y la piel, razón por la cual deben tomarse medidas para evitar la exposición a los ojos. En la Sección 2.5 se trata con mayor detalle lo relacionado a la ceniza de soda y la cal viva.

2.8 Solventes de Limpieza

2.8.1 Descripción y Uso de los Reactivos

Introducción - los solventes de limpieza utilizados en el procesamiento de minerales están constituidos por un grupo de compuestos orgánicos empleados para la limpieza de partes mecánicas y eléctricas. Si bien estos solventes no son usados directamente en los procesos de

minado, concentración y fundición, se les emplea en las respectivas áreas de mantenimiento. Por ejemplo, los hidrocarburos aromáticos son frecuentemente utilizados para la limpieza de componentes mecánicos. Para esta aplicación se usa la gran capacidad de penetración y desengrase que presentan este tipo de solventes. Como solventes halogenados, los cloro y fluoro hidrocarburos fueron en principio muy utilizados por sus excelentes propiedades para la eliminación de aceites, ceras, grasas y diversos compuestos orgánicos; pero también debido a su bajo costo y sus características no inflamables. Si bien el número de solventes halogenados disponibles llegó a ser bastante grande, muchos de ellos han sido comprendidos dentro del alcance de los dispositivos de protección ambiental. Se considera que la utilización muchos de éstos afecta a la capa de ozono, por lo que se encuentran regulados.

De otro lado, la disposición de solventes halogenados es cada vez más restringida. Cada vez es más frecuente que se prohíba la disposición de solventes en el subsuelo. Es importante señalar que los solventes no halogenados están considerados dentro de los compuestos menos persistentes en el medio ambiente. Más aún, los solventes no halogenados son mucho más biodegradables que los solventes halogenados. Las consecuencias potenciales y efectivas para la salud asociadas con la utilización de solventes halogenados son significativas en comparación con aquéllas atribuibles a solventes no halogenados de una capacidad de limpieza equivalente.

A su vez, los solventes de limpieza pueden dividirse en los siguientes tipos:

- q hidrocarburos no halogenados

- q hidrocarburos halogenados

Los siguientes son ejemplos de solventes no halogenados:

- s benceno;

s solvente Stoddard;

s tolueno;

s xileno; y

s nafta.

Los siguientes son ejemplos de solventes de hidrocarburos halogenados:

s cloroformo;

s tetracloruro de carbono;

s tricloroetano;

s bromuro de metilo (bromocarbono)

s difluorocloroetano (fluorocarbono); y

s tricloroetileno.

Por lo general, estos solventes vienen en cilindros de 55 galones y se les usa concentrados. Se deben tomar las debidas precauciones para evitar derrames durante el trasvase y uso del producto. En caso de que se produjesen derrames, éstos deberán ser limpiados inmediatamente; asimismo, se deberá reducir al mínimo el riesgo de incendio asociado a los solventes no halogenados.

De ser posible, se deberá recolectar y reciclar todos los solventes de desecho. No se deberá mezclar los solventes halogenados con solventes fabricados a base de derivados del petróleo; deberán ser usados, reciclados y/o dispuestos por separado. La forma típica de disposición de solventes es por incineración, recurriendo al uso de sistemas de calderos o de unidades especiales de incineración. No es posible utilizar los solventes halogenados para la recuperación de calor por ser refractarios. Así por ejemplo, se requiere de temperaturas muy altas, así como de un mayor nivel de residencia, para lograr la combustión total de estos compuestos. Los calderos trabajan por lo general a temperaturas menores de las que se requieren para la destrucción de los solventes halogenados.

2.8.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

Los Cuadros 2.8.1 y 2.8.2 (ver Anexo) resumen las características y límites de exposición asociados con el uso de solventes de limpieza no halogenados y halogenados, respectivamente.

2.8.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Introducción - los efectos potenciales y reales sobre la salud, relacionados con los solventes halogenados, son significativos en comparación con aquéllos ocasionados por solventes no halogenados de una capacidad de limpieza equivalente. Por ello, se privilegia en todo el mundo el uso de solventes no halogenados a fin de minimizar tanto los efectos sobre la salud como el impacto ambiental. Frecuentemente, los efectos sobre la salud causados por el uso de solventes halogenados y no

halogenados están relacionados con reacciones depresivas del sistema nervioso. En la presente guía la discusión se limitará al caso de un solvente no halogenado y uno halogenado de uso común. Los solventes tratados en esta sección serán el benceno y el tricloroetileno.

Benceno

Efectos sobre la Salud - al igual que la mayoría de los solventes orgánicos, el benceno tiene una acción depresiva sobre el sistema nervioso central en altas concentraciones, pudiendo causar graves reacciones narcóticas. Los efectos no son específicos y pueden variar de simples manifestaciones como mareo o dolor de cabeza, hasta trastornos del sistema respiratorio e incluso paralizar a una persona y producirle la muerte. El benceno genera, en la persona que ha estado expuesta a este elemento, una conducta de aparente embriaguez por lo que se le conoce entre los trabajadores industriales como "borrachera de benceno" y se caracteriza por euforia, andar inestable y confusión. La recuperación de la intoxicación con benceno es total a menos que la duración de la exposición haya ocasionado cambios patológicos permanentes.

El envenenamiento crónico con benceno es de una importancia toxicológica mayor. Su incidencia ha ido disminuyendo gradualmente durante los últimos años con la mejora de las medidas de higiene industrial, así como por la cuidadosa y efectiva investigación realizada para encontrar sustitutos que sean igualmente eficientes y menos tóxicos. El cuadro clínico relacionado con el envenenamiento crónico con benceno puede variar de persona a persona. Por lo general, no se puede establecer una relación definitiva entre el grado de exposición al benceno y los efectos de la enfermedad. El punto de vista que sostiene que las mujeres son más susceptibles que los hombres y que las personas menores son más vulnerables que las mayores es tradicional, pero no está fundamentado con sólidos datos epidemiológicos. Es probable que la característica anemia que presentan las mujeres debido a la demanda de médula de hueso y el embarazo las haga más vulnerables al benceno. En muchos casos se ha producido envenenamiento crónico con benceno por la exposición repetida al aire contaminado con vapor de benceno durante meses o años.

Tricloroetano

Efectos sobre la Salud - el tricloroetano es un solvente narcótico y colector (adelgazante) de la grasa de la piel, al igual que la mayoría de los hidrocarburos halogenados. La exposición a altas concentraciones de aire conteniendo tricloroetano puede producir una narcosis, e incluso una depresión respiratoria de consecuencias fatales bajo condiciones de sobreexposición negligente. No existe evidencia de que este solvente cause daños hepáticos o renales, como es característico en otros solventes, tales como el tetracloruro de carbono. Ciertos trabajos experimentales (Reinhardt y otros, 1971; Aviado y Belej, 1973) y la experiencia clínica con preparados de anti tusígenos que contienen tricloroetano han llegado a establecer que las propiedades de este compuesto son bastante dañinas para el corazón, incluso se han atribuido muertes a las arritmias cardíacas, mitigadas probablemente con la sensibilización de la epinefrina (adrenalina).

El tricloroetano es un potente agente anestésico, irrita las mucosas y es una hepatonefro toxina bastante fuerte, por lo que su

uso requiere de medidas precautorias para la salud y seguridad. Es de vital importancia que los trabajadores que lo empleen estén debidamente capacitados acerca de su uso.

En general, en el caso de los solventes halogenados, los riesgos de fuego y explosión van de bajos a moderados. Los solventes halogenados pueden arder cuando entran en contacto con las llamas por un período prolongado, pero no presentan combustión espontánea. La mayoría de vapores son más pesados que el aire y podrían crear atmósferas deficientes de oxígeno de producirse combustión. Los contenedores cerrados de solventes pueden explotar con el fuego o el calor. Asimismo, como resultado de la combustión pueden producirse gases venenosos.

Del mismo modo, en el caso de los solventes no halogenados los peligros de fuego y explosión son más bien moderados. El solvente Stoddard, por ejemplo, posee un punto de inflamación de 100-110 grados Fahrenheit y arderá cuando entre en contacto con el fuego. Puede producirse una acumulación de vapor con el riesgo de que halla una explosión o se genere una atmósfera deficiente de oxígeno, si los tanques para limpieza de partes se dejan abiertos y los vapores no son ventilados adecuadamente.

La principal forma de exposición del personal a los solventes de limpieza es por inhalación y absorción a través de la piel. Por lo que cuando no se les utilice, los tanques deberán permanecer tapados y bien ventilados. Asimismo, se deberá utilizar de manera conjunta los dispositivos de ventilación y el equipo de protección del personal (respirador, guantes, etc.) para minimizar los riesgos potenciales de exposición.

Impacto Ambiental - los impactos ambientales asociados con el uso y manipuleo de los solventes de limpieza son mínimos, siempre que se sigan procedimientos adecuados de almacenamiento y prevención de derrames. Debido a que los solventes de limpieza no tienen una participación directa en las operaciones de producción y sólo se les utiliza ocasionalmente para limpiar partes, las cantidades a la mano disponibles para su uso son pequeñas, por lo que su impacto ambiental no es significativo. Los derrames en el lugar y su descarga en lagos o arroyos adyacentes tendrán un efecto tóxico sobre la biota acuática.

El uso de sistemas de control de vapor y tanques cerrados ayuda a minimizar las descargas a la atmósfera. Por ello los efectos sobre la atmósfera son considerados de menor importancia.

La adecuada disposición de los solventes utilizados es de importancia capital, con el fin de prevenir impactos ambientales a largo plazo. Se deberá desarrollar un mecanismo de disposición que dé como resultado la apropiada recolección del solvente utilizado y su posterior disposición, ya sea mediante reciclaje o incineración. Se deberá evitar la disposición en rellenos. Pueden llegar a producirse impactos de largo plazo en la calidad del agua subterránea si el producto es limpiado o eliminado de manera

inadecuada. Con el tiempo, los solventes no halogenados tienden a biodegradar; sin embargo, los solventes halogenados son más refractarios y son menos biodegradables.

2.9 Reactivos de Refinación

2.9.1 Descripción y Uso de los Reactivos

Los reactivos de refinación utilizados en el procesamiento de minerales constituyen un grupo de compuestos metálicos e inorgánicos empleados para mejorar la pureza de los bullones metálicos, los cuales contienen una serie de impurezas. El contacto con los reactivos de refinación a través del proceso convierte a los bullones en metal de alta ley.

2.9.2 Características Físicas y Químicas, y Límites de Exposición

El Cuadro 2.9.2 (ver Anexo) resume la información más importante acerca de los reactivos de refinación más comunes.

El uso de mercurio metálico se limita a la amalgamación de oro y plata.

En relación a las prácticas recomendables de almacenamiento y manipuleo, tanto desde el punto de vista de la salud ocupacional como de la protección ambiental, se requiere de un cuidado mucho mayor en el caso del mercurio y el hidróxido de sodio. Los procedimientos operativos deberán incorporar estructuras de contención y de control de derrames en los respectivos lugares de trabajo. Los otros reactivos de refinación requieren de un almacenamiento bajo techo al igual que los compuestos secos.

2.9.3 Efectos en la Salud e Impacto Ambiental

Efectos sobre la Salud - con la excepción del mercurio, los reactivos de refinación señalados no causan efectos adversos para la salud en el largo plazo. Sin embargo, muchos de los reactivos inorgánicos, tales como fluoruro de calcio, hidróxido de sodio e hidróxido de bario pueden llegar a ser un peligro grave para los tejidos del cuerpo. Por lo general, los reactivos de refinación inorgánicos no son cancerígenos. Mientras los controles administrativos y técnicos de exposición se mantengan efectivamente vigentes, el mercurio no representará un peligro a la salud. Esto se logra con ayuda de los sistemas de ventilación industrial y recuperación de mercurio, los cuales son complementados con el uso obligatorio de implementos de protección personal (respiradores y guantes).

La detección y diagnóstico del envenenamiento por mercurio debido a su uso industrial es una tarea difícil. No se suele contar con información bien documentada acerca de niveles altos de exposición al mercurio asociados con salivación, estomatitis, temblores e irritabilidad. La no especificidad de los efectos patológicos hace que sea difícil diagnosticar el envenenamiento con

mercurio. En la planta debe contarse con información referida al tipo y cantidad de mercurio absorbido mediante inhalación o a través de la piel y la cantidad eliminada en la orina para diagnosticar de manera efectiva el envenenamiento con mercurio. Para ello deberá ponerse en práctica un efectivo control de la salud de los trabajadores, para evitar que se presenten casos de envenenamiento con mercurio. Se han publicado informes detallando las cantidades exactas de mercurio asociadas con las enfermedades ocupacionales. Jordan y Barrows (1924) reportaron que la cantidad de mercurio presente en el aire que puede causar envenenamiento grave es de 0.7 mg/m³, siempre que la inhalación sea permanente durante una semana laboral de 40 horas.

Hill (1943) consideró que la cantidad fatal era de 1.04 mg/m³ cuando era inhalado en un período de 3 meses. Hamilton y Hardy (1949) descubrieron que sería suficiente que la absorción diaria superase los 0.4 mg para causar un envenenamiento crónico, sea cual fuere la vía de exposición (inhalación o ingestión, etc.). Hasta este punto, la secreción de los riñones se iguala a la absorción. De lo expuesto se desprende que las principales vías de exposición del mercurio, así como de los otros reactivos de refinación, a los que se hace referencia en esta sección, son la inhalación y la ingestión. Se sabe que el contacto con la piel causa lesiones severas, pero ésta no es la vía que da lugar a la bioacumulación.

Por lo general, los riesgos de incendio y explosión asociados con los reactivos de refinación son mínimos. No obstante, se deberá desarrollar e implementar procedimientos preventivos y operativos que establezcan la manera en que se limpiará el reactivo de refinación involucrado, especialmente el mercurio. Con el fin de implementar dichos planes y procedimientos, se deberá capacitar periódicamente a los trabajadores.

Con la excepción del mercurio, los lugares más comunes de exposición a los reactivos de refinación son las áreas en las que se realiza la agitación mecánica y el manipuleo. A partir de este momento los reactivos han sido diluidos, por lo que su concentración no llega a niveles peligrosos. A pesar de que el mercurio permanece en su forma metálica durante el proceso de amalgamación, las concentraciones en las etapas posteriores del proceso son insignificantes, con excepción de las posibles emisiones a la atmósfera. Otros procesos de tratamiento de minerales pueden ocasionar problemas de emisiones a la atmósfera debido a la descarga del mercurio separado o de sub productos del proceso final de transformación. En estos casos, se construye un sistema de recuperación de mercurio y se vende el recuperado. El monitoreo en el centro de trabajo resulta de importancia capital para asegurar que no se exceda los límites umbrales.

Los impactos ambientales potenciales asociados con el uso cotidiano de los reactivos de refinación son bajos. Los hidróxidos de mercurio y sodio constituyen el peligro de mayor consideración en casos que se produzcan descargas descontroladas. El

mercurio es extremadamente tóxico para la vida acuática en niveles tan bajos como 0.5 ppm. Un peligro latente es la bioacumulación en organismos acuáticos residentes.

El hidróxido de sodio es bastante tóxico; un derrame de este tipo puede causar cambios significativos en el pH de las cuencas afectadas. Se deberá contar con planes de contención de derrames y procedimientos operativos; cada cierto tiempo se deberá organizar charlas de seguridad para los trabajadores, con el fin de garantizar el uso seguro y efectivo de estos materiales.

El uso del mercurio para amalgamar el oro no representa un gran riesgo para la salud de los pequeños mineros formales, debido a que sus pequeñas minas no cuentan con tajos abiertos y las personas cuando manipulan los metales tienen especial cuidado principalmente antes de comer, por lo que se lavan las manos. El problema con el mercurio metálico es que es sumamente tóxico para los peces y los organismos acuáticos. En el lecho de los ríos, el Hg metálico puede llegar a formar compuestos orgánicos, como por ejemplo el mercurio metílico que es muy soluble, por lo que es absorbido por plantas y animales.

El proceso que representa un riesgo real para el pequeño minero (formal o informal) es el refogado de la amalgama para recuperar el oro. Los vapores de mercurio producidos son muy tóxicos para el ser humano. Si se aplica el proceso de retorta, éste se deberá realizar recuperando el Hg y evitando que los gases emitidos lleguen a los trabajadores.

Una alternativa para el proceso de retorta es la disolución y separación del mercurio y el oro mediante el ataque con HNO₃. El mercurio podrá ser recuperado del HNO₃ añadiendo aluminio (Al). El Hg en solución puede ser altamente tóxico para el ser humano y los animales.