

## **SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES**

### **NORMA Oficial Mexicana NOM-159-SEMARNAT-2011, Que establece los requisitos de protección ambiental de los sistemas de lixiviación de cobre.**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SANDRA DENISSE HERRERA FLORES, Subsecretaria de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidenta del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con fundamento en lo dispuesto en los artículos 32 Bis fracciones I, III, IV y V de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 2 fracciones III y IX, 7 fracción III y 17 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; 40 fracciones I y X; 43; y 47 fracciones III y IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 34 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; 1 y 8 fracción V del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

#### **CONSIDERANDO**

Que tanto el crecimiento industrial como el de la población, han contribuido a la generación de impactos ambientales, algunos de ellos considerables para el equilibrio ecológico y el ambiente.

Que se deben acatar los criterios ecológicos para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, en particular por los impactos generados por las actividades de beneficio y aprovechamiento de sustancias minerales, establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Que para prevenir y controlar los efectos generados por el beneficio de los minerales, la Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas que permitan la adecuada ubicación y operación de los sistemas de lixiviación. Que debido a los impactos significativos que los residuos provenientes de plantas de beneficio de minerales podrían tener sobre el medio ambiente, se hace necesario su control.

Que los patios y terreros de lixiviación, al final de su operación, son uno de los sistemas para la disposición de los residuos sólidos generados por el beneficio de minerales y que al estar contemplados en el artículo 17 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, deben reunir condiciones de máxima seguridad, a fin de garantizar la protección de la población, las actividades económicas y sociales y, en general, el equilibrio ecológico.

Que los métodos de prueba que establecen el procedimiento para determinar la peligrosidad de los minerales lixiviados o gastados, propuestos en esta Norma Oficial Mexicana fueron desarrollados y estandarizados para determinar las características que los hacen peligrosos por su toxicidad a matrices sólidas, como son los residuos mineros y están aceptados por la comunidad científica nacional e internacional.

Que en cumplimiento a lo establecido en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales aprobó la publicación en el Diario Oficial de la Federación, con carácter de proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-159-SEMARNAT-2010, Que establece los requisitos de protección ambiental de los sistemas de lixiviación de cobre, mismo que fue publicado con fecha 1 de abril de 2011, con el fin de que dentro de los 60 días naturales siguientes a su publicación los interesados presentarán sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sito en Boulevard Adolfo Ruiz Cortines número 4209, piso 4o., colonia Jardines en la Montaña, código postal 14210, Delegación Tlalpan, Distrito Federal o a los correos electrónicos [paloma.garcia@semarnat.gob.mx](mailto:paloma.garcia@semarnat.gob.mx) o [gabriela.milan@semarnat.gob.mx](mailto:gabriela.milan@semarnat.gob.mx).

Que durante el citado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente estuvo a disposición del público para su consulta en el domicilio señalado, de conformidad con el artículo 47 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Que de acuerdo con lo establecido en el artículo 47 fracciones II y III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización los interesados presentaron sus comentarios al Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-159-SEMARNAT-2010, Que establece los requisitos de protección ambiental de los sistemas de lixiviación de cobre, los cuales fueron analizados por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, realizándose las modificaciones procedentes al proyecto; las respuestas a los comentarios y modificaciones antes citados fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de enero de 2012.

Que una vez cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de normas oficiales mexicanas el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales en sesión de fecha 29 de noviembre de 2011, aprobó la presente Norma Oficial Mexicana NOM-159-SEMARNAT-2011.

Por lo expuesto y fundado, he tenido a bien expedir la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-159-SEMARNAT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS DE PROTECCION AMBIENTAL DE LOS SISTEMAS DE LIXIVIACION DE COBRE**

**PREFACIO**

Esta Norma Oficial Mexicana fue elaborada con la participación de los siguientes organismos bajo la coordinación del Subcomité II-Energía y Actividades Extractivas del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales:

Academia de Ingeniería, A.C.

Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C.

Cámara Minera de México

Colegio de Biólogos de México, A.C.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

- Subprocuraduría de Inspección Industrial

Secretaría de Economía

- Coordinación General de Minería

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

- Dirección General de Energía y Actividades Extractivas

- Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas

- Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental

Universidad Nacional Autónoma de México

- Facultad de Química

- Facultad de Ingeniería

- Instituto de Geología

**INDICE**

0. Introducción

1. Objetivo

2. Campo de Aplicación

3. Referencias

4. Definiciones

5. Especificaciones de Protección Ambiental

5.1 Especificaciones generales

5.2 Caracterización del mineral lixiviado o gastado

5.3 Caracterización del sitio

5.4 Criterios de preparación del sitio y de la obra

5.5 Criterios de proyecto

5.6 Criterios de construcción y operación

5.7 Criterios de supervisión y control de calidad

5.8 Criterios de cierre

5.9 Monitoreo durante la construcción, operación y cierre del sistema de lixiviación

6. Procedimiento para la evaluación de la conformidad
7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración
8. Bibliografía
9. Observancia de esta norma

Anexos Normativos:

Anexo Normativo 1. Plan de muestreo, manejo y control de la muestra

Anexo Normativo 2. Procedimiento de lixiviación de precipitación sintética

Anexo Normativo 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Anexo Normativo 4. Clasificación Mexicana de Patios y Terreros: Intensidad relativa de riesgo, métodos para análisis de estabilidad y tipo de monitoreo recomendado

Figuras y cuadros:

Figura 1. Sistema de lixiviación

Figura 2. Regiones sísmicas en la República Mexicana

Figura 3. Regiones hidrológico-administrativas de la República Mexicana

Cuadro 1. Guía para el número de muestras simples

Cuadro 2. Límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto del procedimiento de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) y base seca

Cuadro 3. Criterios para determinar la peligrosidad del mineral gastado por su potencial de generación de drenaje ácido

Cuadro 4. Clasificación topográfica en la República Mexicana

## **0. Introducción**

La lixiviación de minerales es uno de los métodos que se utilizan para la extracción de mineral de cobre.

Los aspectos de control ambiental a considerar en la operación de un sistema de lixiviación, se asocian con el potencial de generación de drenaje ácido y la movilidad de metales del mineral lixiviado, así como con la pérdida de estabilidad de la pila.

A nivel internacional son reconocidos los efectos ambientales que se pueden generar debido al inadecuado manejo de este tipo de beneficio de minerales. Los impactos ambientales pueden ser significativamente minimizados a través de la aplicación de las mejores tecnologías ambientales que permitan el adecuado proyecto, construcción, operación y disminución de la toxicidad de las instalaciones; así como de prácticas para el cierre definitivo y la rehabilitación de todas las áreas.

### **1. Objetivo**

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones para identificar la peligrosidad del residuo, así como los requisitos de protección ambiental para las etapas de caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación, cierre y monitoreo de los sistemas de lixiviación de minerales de cobre.

### **2. Campo de Aplicación**

Esta norma es de orden público y de interés social, así como de observancia obligatoria en todo el territorio nacional, para las personas físicas y morales que construyan y operen sistemas de lixiviación de minerales de cobre en patios o en terreros.

Aplica para nuevos proyectos de sistemas de lixiviación de minerales de cobre en patios o en terreros y para todos aquellos que entren en la fase de cierre, cuyo plan no fue autorizado en la evaluación del impacto ambiental.

Esta norma no aplica a la lixiviación *in situ*.

### **3. Referencias**

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997, así como su Aclaración publicada el 30 de abril del mismo año.

Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de diciembre de 2010.

Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 2004.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de marzo de 2007.

Norma Oficial Mexicana NOM-155-SEMARNAT-2007, Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de enero de 2010.

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de abril de 2002.

Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas residuales.- Muestreo, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011, Análisis de agua.-Determinación del pH- Método de prueba, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de octubre de 2011.

Norma Mexicana NMX-AA-014-1980, Cuerpos receptores – Muestreo, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de septiembre de 1980.

Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de agosto de 2001.

ISO 5667-3:2003 Water quality -- Sampling -- Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples.

ISO 5667-6:2005 Water quality -- Sampling -- Part 6: Guidance on sampling of rivers and streams.

#### **4. Definiciones**

Para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Vida Silvestre, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y sus Reglamentos, y las siguientes:

**4.1. Agente de lixiviación.-** Sustancia oxidante en medio acuoso que se utiliza en los patios y terreros para la disolución y recuperación de valores del mineral.

**4.2. Berma.-** Escalón horizontal de un corte o terraplén para aumentar su estabilidad de talud.

**4.3. Cierre.-** Se refiere a las actividades de lavado, estabilización final física y química y rehabilitación, que se inician al término de la operación del sistema de lixiviación.

**4.4. Drenaje ácido.-** Lixiviado, efluente o drenaje contaminante con un  $\text{pH} < 4$ , proveniente de un apilamiento de mineral, producido por la oxidación natural de minerales sulfurosos contenidos en rocas o residuos expuestos al aire, agua y/o microorganismos promotores de la oxidación de sulfuros.

**4.5. Lixiviación.-** La aplicación de un agente oxidante acuoso a un mineral con el propósito de extraer un compuesto metálico.

**4.6. Lixiviación en patios.-** La aplicación del proceso de lixiviación a un apilamiento de mineral colocado sobre una plataforma con recubrimiento.

**4.7. Lixiviación en terreros.-** La aplicación del proceso de lixiviación a un apilamiento de mineral colocado sobre el terreno natural.

**4.8. Lixiviación *in situ*.-** La aplicación del proceso de lixiviación a un yacimiento en el lugar donde naturalmente se encuentra.

**4.9. Mineral fresco.-** Mineral que será sometido al proceso de lixiviación.

**4.10. Mineral lixiviado o gastado.-** Residuo del mineral que ha sido tratado bajo un proceso de lixiviación.

**4.11. Obras complementarias.-** Conjunto de instalaciones y edificaciones necesarias, para la correcta operación de un sistema de lixiviación.

**4.12. Patio.-** Conjunto de obras y servicios que integran el proceso de lixiviación en pilas de mineral de cobre. Un patio de lixiviación está constituido comúnmente por: [i] una o varias pilas construidas sobre una plataforma con recubrimiento, donde la base ha sido impermeabilizada para impedir la infiltración de la solución lixivante; [ii] una pileta para la recolección de la solución preñada; [iii] una pileta de emergencia o de sobreflujo; [iv] una pileta para la recolección de la solución gastada.

**4.13. Permeabilidad.-** Propiedad de los materiales para permitir el paso de un fluido.

**4.14. Pila.-** Material mineral que se deposita sobre una plataforma, con o sin recubrimiento, y cuyos valores metálicos se recuperan por el proceso de lixiviación. También se le denomina montón o terrero.

**4.15. Pileta.-** Depósito impermeabilizado construido para el manejo de las soluciones acuosas generadas en el proceso de lixiviación.

**4.16. Pileta de emergencia.-** Depósito construido para el manejo de las soluciones acuosas generadas en el proceso de lixiviación en caso de alguna eventualidad. También se conoce como pileta de sobreflujo o fosa de emergencia.

**4.17. Planta metalúrgica.-** Se refiere a la planta de extracción por solventes y depositación electrolítica.

**4.18. Plataforma.-** Superficie impermeable de apoyo al mineral por lixiviar, con o sin recubrimiento, donde se acomoda un mineral cuyos valores metálicos se recuperan por el proceso de lixiviación.

**4.19. Proceso de cuarteo.-** Conjunto de acciones que se llevan a cabo de manera sucesiva y que consisten en mezclar y dividir en cuatro las muestras de mineral gastado obtenidas en laboratorio, con el propósito de reducir la muestra compuesta original hasta obtener el tamaño adecuado para el análisis de caracterización.

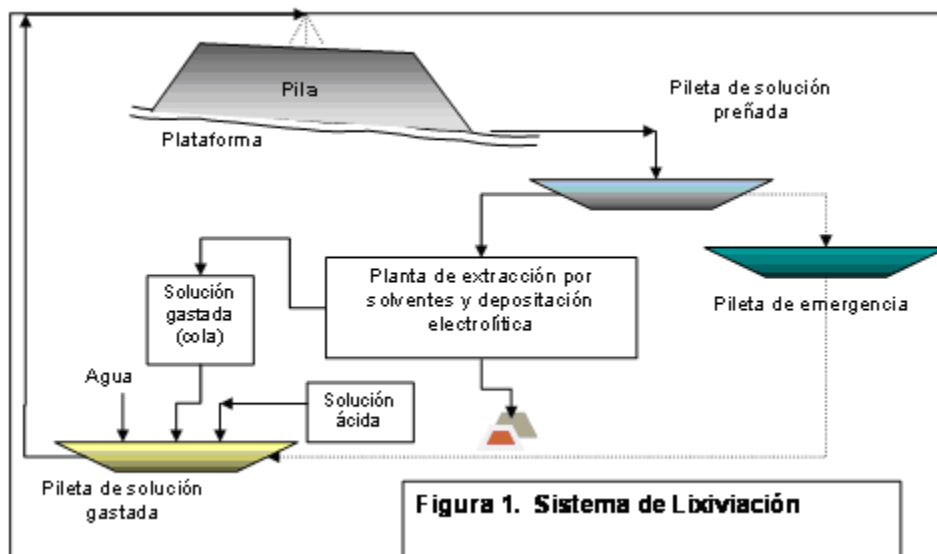
**4.20. Proceso de lixiviación.-** La disolución selectiva de los minerales con valor económico. Para yacimientos de cobre, la lixiviación generalmente se realiza tratando el mineral con una solución ácida.

**4.21. Recubrimiento.-** Geomembrana sintética que se coloca en la plataforma de los patios y que protege e impide la infiltración de soluciones contaminantes al suelo subyacente.

**4.22. Rehabilitación del sistema.-** Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales del sitio en que se ubica el sistema de lixiviación.

**4.23. Sección de la mena.-** La secuencia de estratos descrita originalmente, que constituye una unidad estratigráfica. Sirve como patrón objetivo con el cual separar espacialmente las partes de la unidad para que puedan ser comparadas, siendo de preferencia un área en donde la unidad muestre el espesor máximo y esté expuesta en forma completa (o cuando menos que muestre la cima y el fondo). Las secciones tipo para unidades litoestratigráficas nunca pueden ser cambiadas.

**4.24. Sistema de lixiviación.-** Conjunto de obras y servicios que integran el proceso de lixiviación en pilas de minerales de cobre. Un sistema está constituido comúnmente por: [i] una pila o varias pilas construidas sobre una plataforma, con o sin recubrimiento, donde la base es impermeable para impedir la infiltración de la solución lixivante; [ii] una pileta para la recolección de la solución preñada; [iii] una pileta de emergencia o de sobreflujo; [iv] una pileta para la recolección de la solución gastada; y [v] la planta metalúrgica para la extracción del cobre de la solución preñada (ver Figura 1).



**4.25. Solución gastada.-** Aquella saliente de la planta en estado acuoso, a la que se le han despojado los valores económicos disueltos y que es generalmente acondicionada para ser utilizada nuevamente como agente de lixiviación en el proceso.

**4.26. Solución preñada.-** Aquella en estado acuoso que proviene del patio o terrero, cargada con los elementos de valor económico, una vez recuperada del proceso de lixiviación.

**4.27. Terreros.-** Conjunto de obras y servicios que integran el proceso de lixiviación en pilas de mineral de cobre. Un terrero está constituido comúnmente por: [i] una o varias pilas construidas sobre una plataforma; [ii] una pileta para la recolección de la solución preñada; [iii] una pileta de emergencia o sobreflujo; y [iv] una pileta para la recolección de la solución gastada.

## 5. Especificaciones de Protección Ambiental.

En la preparación del sitio, proyecto, construcción, operación, cierre y monitoreo de los sistemas de lixiviación de minerales de cobre, se deben aplicar las especificaciones para la identificación de la peligrosidad del residuo, la caracterización del sitio, así como los criterios de protección ambiental establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana.

### 5.1 Especificaciones generales.

Los estudios, proyectos de ingeniería y demás información técnica o científica utilizada, así como la evidencia de su cumplimiento, deben mantenerse clasificados y disponibles en el sitio para que la autoridad verifique su existencia y contenido en el momento que lo considere necesario.

### 5.2. Caracterización del mineral lixiviado o gastado.

Las pruebas para determinar la caracterización del mineral, se efectuarán durante la etapa de exploración de la mena o durante la etapa de operación minera, en ambos casos, a partir de muestras de mineral lixiviado o gastado.

#### 5.2.1. Muestreo del mineral.

**5.2.1.1.** Las muestras de mineral lixiviado o gastado se obtendrán a partir de la lixiviación en laboratorio de mineral fresco.

**5.2.1.2.** El método empleado en el laboratorio para el beneficio del mineral muestreado, debe simular el proceso de lixiviación a escala real, seguido durante la operación minera.

**5.2.1.3.** Las muestras de mineral fresco deben ser obtenidas del mineral que se vaya a procesar en la pila durante la operación minera, o de las muestras de mineral fresco que sean tomadas durante la etapa de exploración de la mena, conforme a las consideraciones contenidas en el Anexo Normativo 1: Plan de muestreo, manejo y control de la muestra.

**5.2.1.4. Muestras de mineral fresco de la etapa de exploración de la mena.**

En el caso de que las muestras de mineral fresco sean tomadas durante la etapa de exploración de la mena, correspondiente a la ubicación y cuantificación de reservas susceptibles de someterse al proceso de lixiviación, se realizará lo siguiente:

El número total de muestras individuales correspondientes a la vida útil de la operación minera (NTMVU) se debe determinar con alguna de las ecuaciones que se presentan en el Cuadro 1, la cual se selecciona en función del rango en que se encuentre la masa de las reservas probadas económicamente explotables (MRPEE).

**Cuadro 1. Guía para el número de muestras simples**

	<b>ECUACION A APLICAR PARA DETERMINAR EL NTMVU</b>	<b>RANGO EN EL QUE SE ENCUENTRA LA MRPEE</b>
1)	$NTMVU = 5$	$MRPEE < 10^4$ Toneladas
2)	$NTMVU = 6 \times 10^{-5}(MRPEE) + 4.321$	$10^4 = MRPEE < 10^5$ Toneladas
3)	$NTMVU = 25.218 \ln(MRPEE) - 280.34$	$10^5 = MRPEE < 6 \times 10^6$ Toneladas
4)	$NTMVU = 3 \times 10^{-6}(MRPEE) + 95$	$6 \times 10^6 = MRPEE < 10^8$ Toneladas
5)	$NTMVU = 56.494 \ln(MRPEE) - 535.13$	$10^8 = MRPEE = 8 \times 10^8$ Toneladas
6)	$NTMVU = 500$	$MRPEE > 8 \times 10^8$ Toneladas

El resultado del cálculo se cerrará a enteros. Si la fracción del resultado es menor a 0.5, el resultado se cerrará al entero inmediato anterior; si la fracción resultante es superior a 0.5, el resultado se cerrará al entero inmediato siguiente.

**5.2.1.4.1.** Las muestras de mineral que se tomen en las etapas de exploración de la mena, serán obtenidas en cantidad suficiente, tanto para cumplir con el propósito de identificar las especies minerales presentes y cuantificar las reservas, como para la integración de muestras compuestas que se someterán a lixiviación a escala laboratorio, con el fin de generar el mineral gastado a ser caracterizado.

**5.2.1.4.2.** A partir de los resultados de los análisis de las especies minerales presentes, se estimará la distribución tridimensional en la mena de los precursores del potencial de drenaje ácido.

**5.2.1.4.3.** Conformación de las muestras compuestas.

**5.2.1.4.3.1.** Con base en el plan para la explotación de la mena que realizará la unidad minera, se seleccionarán de entre las muestras tomadas en la etapa de exploración, las muestras de las cuales se tomarán las porciones que conformarán las muestras compuestas representativas de cada sección de la mena. El peso de cada porción se seleccionará de manera que la compuesta correspondiente, resulte representativa de la composición de la sección respectiva en cuanto a los precursores de drenaje ácido.

**5.2.1.4.3.2.** Las muestras compuestas así conformadas y homogenizadas se someterán al proceso de beneficio a escala en el laboratorio. El mineral gastado resultante se someterá a un proceso de cuarteo y homogeneización sucesivos, hasta obtener la cantidad de muestra suficiente para el análisis de caracterización.

**5.2.1.5.** Muestras de mineral fresco de la etapa de operación minera.

**5.2.1.5.1.** Cuando las muestras de mineral fresco sean tomadas del mineral extraído de la mena durante su minado, el número mínimo mensual de muestras individuales a tomar, se determinará con base en los estimados de tonelaje de mineral a lixiviar, tanto el mensual como el tonelaje que se obtendrá durante la vida útil, y en el número total de muestras individuales correspondientes a la vida útil de la operación minera.

**5.2.1.5.2.** El número mínimo mensual de muestras (NMM) se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$NMM = \frac{NTMVU \times MEM}{MRPEE}$$

Donde:

NTMVU: es el número total de muestras correspondientes a la vida útil de la operación minera.

MEM: es la masa de mineral a extraer durante el mes que corresponda.

MRPEE: es la masa de reservas probadas económicamente explotables.

**5.2.1.5.3.** Con el número mínimo mensual de muestras (NMM) se formará un compuesto anual, al cual se le aplicarán las pruebas de lixiviación a escala real para obtener las muestras de mineral gastado.

**5.2.1.6.** A las muestras del mineral lixiviado o gastado referido en el numeral 5.2.1.4.3.2. o en el numeral 5.2.1.5.3., según corresponda, se le aplicarán las pruebas de peligrosidad establecidas en el numeral 5.2.2.

**5.2.1.7.** Se registrará en una bitácora la toma y selección de muestras individuales, la conformación de las muestras compuestas, los resultados del proceso de lixiviación a nivel laboratorio y de la caracterización del mineral gastado, así como la identificación del tipo de peligrosidad conforme a las pruebas establecidas en el numeral 5.2.2.

**5.2.1.8.** Las muestras se conservarán en un almacén con los controles de calidad necesarios hasta la etapa de cierre y serán etiquetadas y almacenadas ordenadamente para facilitar su selección y consumo.

**5.2.2.** Pruebas para determinar la peligrosidad de los residuos en los patios y terreros de lixiviación.

Las pruebas señaladas en los numerales 5.2.2.1, 5.2.2.2. y 5.2.2.3., se deben realizar a las muestras señaladas en el numeral 5.2.1.6. En el caso del compuesto obtenido durante la etapa de operación, la periodicidad será anual.

**5.2.2.1.** Concentraciones totales (base seca).

**5.2.2.1.1.** Mediante la aplicación de los procedimientos descritos en el Apéndice Normativo B de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, numerales B3 Métodos por espectrometría de absorción atómica y B4 Método por espectrometría de emisión con plasma acoplado inductivamente, o método(s) avalado(s) en publicaciones científicas y cuyos resultados contengan el control de calidad<sup>1</sup>, se deben determinar las concentraciones totales de los siguientes elementos: antimonio, arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio, plata, plomo y selenio.

**5.2.2.1.2.** Cuando la concentración total de los elementos normados sea mayor que el correspondiente límite máximo permisible base seca señalado en el Cuadro 2 de la presente Norma Oficial Mexicana, se debe realizar la prueba de movilidad, conforme a lo descrito en el numeral 5.2.2.2.

**5.2.2.1.3.** Cuando la concentración total de los elementos normados, sea menor que el correspondiente límite máximo permisible base seca, señalado en el Cuadro 2 de la presente Norma Oficial Mexicana se concluye, que el mineral no es peligroso por movilidad, por lo que no es necesario realizar la prueba de movilidad.

**Cuadro 2. Límites máximos permisibles (LMP) para los constituyentes tóxicos en el extracto del procedimiento de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) y base seca**

Contaminante	LMP (mg/L)	LMP (mg/kg)
	PECT	Base seca
Antimonio	0.53	10.60
Arsénico	5.00	100.00
Bario	100.00	2000.00
Cadmio	1.00	20.00
Cromo	5.00	100.00
Mercurio	0.20	4.00
Plata	5.00	100.00
Plomo	5.00	100.00
Selenio	1.00	20.00

<sup>1</sup> El control de calidad requiere el cumplimiento de dos características:

a) Exactitud. Que se evalúa con blancos adicionados y materiales de referencia certificados y en su defecto si no existe el material, se puede optar por tener un material de referencia interno cuya matriz sea lo más parecida a la de la muestra problema. (La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) establece un +/- 20% de tolerancia).

b) Precisión. Se evalúa con duplicados o triplicados. LA EPA sugiere que por lo menos se hagan duplicados del 20% de las muestras analizadas por lote. (EPA sugiere 20% de error como tolerancia).

Además, como parte del control de calidad se recomienda tener blancos por cada lote analizado y que sean sometidos a todo el proceso de análisis.

Registro de datos generados (en bitácora), así como los métodos utilizados, materiales y equipos.

Realizar los análisis siguiendo procedimientos establecidos internacionalmente (EPA, ASTM, DIN), o en su defecto procedimientos establecidos por el laboratorio pero validados.

Por otra parte, los procedimientos internacionales indican los controles de calidad sugeridos para cada determinación.



**5.2.2.2. Prueba de movilidad.**

**5.2.2.2.1.** Se deberá seleccionar una de las siguientes pruebas de extracción de los constituyentes tóxicos:

- a) Procedimiento de movilidad con agua meteórica (MWMP) (Anexo Normativo 1, NOM-155-SEMARNAT-2007),
- b) Lixiviación de precipitación sintética con mezcla  $H_2SO_4/HNO_3$  (Anexo Normativo 2).

**5.2.2.2.2.** Si la concentración en el extracto de uno o varios de los elementos listados en el Cuadro 2 de la presente Norma Oficial Mexicana, es superior a los límites permisibles para constituyentes tóxicos en el extracto PECT señalados en ese mismo cuadro, el residuo representado por la muestra es peligroso por su toxicidad.

**5.2.2.3. Prueba de generación de drenaje ácido.**

Para determinar si el residuo es generador potencial de drenaje ácido, se debe de aplicar la prueba modificada de balance de ácido base establecida en los Anexos Normativos 1 y 5 (II) de la NOM-141-SEMARNAT-2003 y sujetarse a los límites establecidos en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Criterios para determinar la peligrosidad del mineral gastado por su potencial de generación de drenaje ácido**

**Potencial de neutralización (PN)/Potencial de acidez (PA)**

<b>Criterio</b>	<b>Calificación</b>	<b>Peligrosidad</b>
<b>PN/ PA <math>\leq</math> 3</b>	Generador de drenaje ácido	Peligroso*/
<b>PN/ PA <math>&gt;</math> 3</b>	No generará drenaje ácido	No peligroso

\*/ Si el valor de la relación PN/PA es mayor de 1 y menor o igual a 3, se considera generador de ácido. En este caso, el generador podrá optar por realizar la prueba estándar de laboratorio sobre intemperización de materiales sólidos utilizando una celda húmeda, para determinar que el residuo no es peligroso. El residuo es peligroso si el resultado de la prueba estándar de laboratorio sobre intemperización de materiales sólidos utilizando una celda húmeda es mayor que 1.

**5.3. Caracterización del sitio.**

Con el propósito de identificar las características del sitio donde se prevé ubicar el sistema de lixiviación, se deben llevar a cabo estudios de los elementos del ambiente presentes en el sitio que sean susceptibles de afectación por los impactos generados por la operación del sistema. La caracterización del sitio debe contemplar los temas siguientes:

**5.3.1. Aspectos geotécnicos (geología, mecánica de suelos y de rocas).**

Los factores geotécnicos a considerar son:

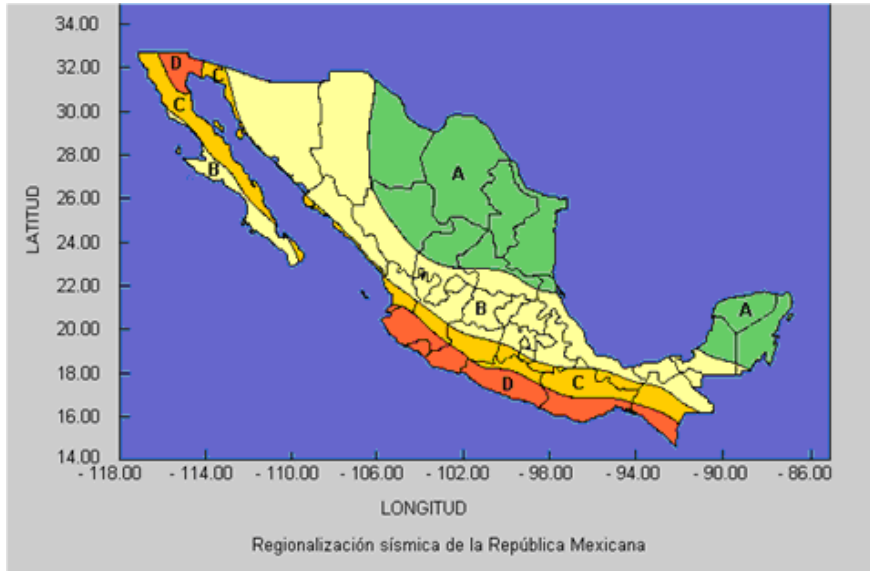
**5.3.1.1.** Describir la estructura geológica general y en detalle de la zona en que se ubicará el sistema de lixiviación.

**5.3.1.2.** Describir las propiedades mecánicas de las formaciones rocosas, especialmente las relativas a su permeabilidad y resistencia; las fracturas y sus características; las condiciones de fisuramiento y orientación, amplitud, separación y profundidad de las fisuras; y el grado y la profundidad actual de la roca intemperizada y las posibilidades de alteración futura considerando las condiciones de operación.

**5.3.1.3.** Obtener los perfiles estratigráficos del terreno de cimentación, haciendo resaltar la variación de la resistencia relativa, la homogeneidad o heterogeneidad de los mismos, así como la identificación de los suelos de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (véase Anexo Normativo 3); realizar pruebas *in situ* de permeabilidad y porosidad y, en laboratorio, de compresibilidad y resistencia al corte. En el caso de patios con recubrimiento sintético las pruebas *in situ* de permeabilidad serán en el terreno de cimentación.

**5.3.1.4.** Determinar la región sísmica donde se ubica el sitio con base en la información de la Figura 2: Regiones Sísmicas en la República Mexicana (Regiones Sísmicas en México, Servicio Sismológico de la UNAM, 2003).

Figura 2. Regiones sísmicas en la República Mexicana



5.3.2. Aspectos hidrológicos.

5.3.2.1. Señalar la región hidrológica de ubicación del sitio, cuenca y subcuenca (Figura 3. Regiones Hidrológico-Administrativas de la República Mexicana, Comisión Nacional del Agua, 2002).

Figura 3. Regiones Hidrológico-Administrativas de la República Mexicana



**5.3.2.2.** Para asegurar la toma de las medidas necesarias para prevenir daños al sistema de lixiviación derivados de factores hidrológicos y los consecuentes daños potenciales a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos existentes, en cuanto a su uso, aprovechamiento y explotación, se deben realizar las actividades señaladas en el numeral 5.3.2.3.

**5.3.2.3.** Información climática.

**5.3.2.3.1.** Para evitar que se genere carga hidráulica en las pilas, o bien que se produzca algún derrame de excedencias fuera del sistema de lixiviación, se deben documentar los siguientes aspectos climáticos:

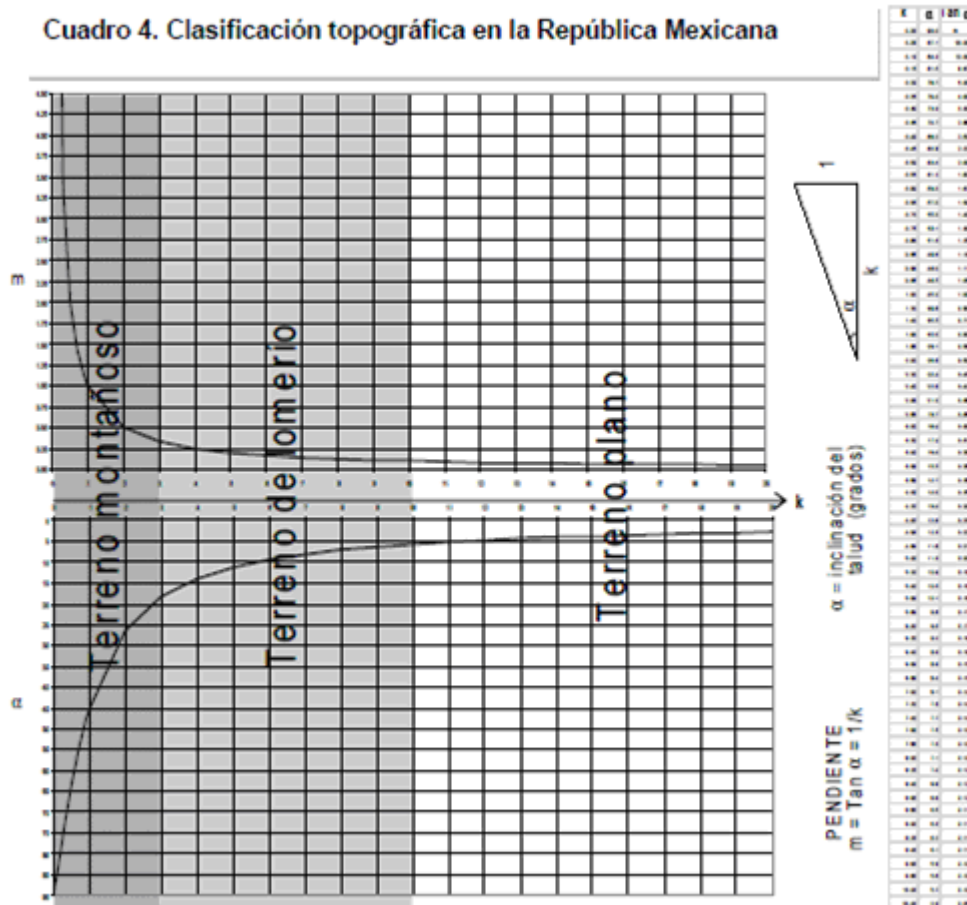
- a. Precipitación media mensual y anual así como sus valores máximos y mínimos.
- b. Temperatura media mensual y anual así como sus valores máximos y mínimos.
- c. Niveles de evaporación.
- d. Tormenta máxima observada para una duración de 24 horas.
- e. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años.
- f. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años.
- g. Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años.
- h. Velocidad, dirección y frecuencia de los vientos.

**5.3.2.3.2.** El sitio seleccionado debe describirse de acuerdo con la Clasificación Topográfica en la República Mexicana, incluida como Cuadro 4 de la presente Norma.

**5.3.2.3.3.** Cuando no exista información hidrométrica y pluviométrica suficiente para la zona en estudio, los datos podrán determinarse indirectamente, mediante el uso de información de las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio.

**5.3.2.3.4.** Los tipos climáticos serán determinados con base en el Continuo Nacional de Efectos Climáticos Regionales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, escala 1:250 000 (uno a doscientos cincuenta mil) (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2006).

**Cuadro 4. Clasificación topográfica en la República Mexicana**



**5.3.2.3.5. Hidrología superficial.**

- a. Delimitar la subcuenca hidrológica donde se instalará el sistema de lixiviación.
- b. Determinar el volumen medio anual del escurrimiento superficial aguas arriba del patio o terrero, conforme a la NOM-011-CONAGUA-2000.
- c. Identificar las áreas susceptibles de inundación.
- d. Determinar la calidad del agua de los cuerpos superficiales, aguas arriba y aguas abajo, con base en los parámetros físicos y químicos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y aquellos metales y compuestos químicos no señalados en dichas Tablas, que sean representativos del proceso. Las técnicas de muestreo de cuerpos de agua podrán ser las indicadas en la NMX-AA-014-1980 o en la NMX en la materia vigente, o las normas ISO 5667-6:2005 e ISO 5667-3:2003. Se tomarán al menos dos muestras de agua, una en la época de estiaje y otra en la de lluvias.

**5.3.2.3.6. Hidrología subterránea.**

**5.3.2.3.6.1.** En el sitio seleccionado para la construcción del sistema de lixiviación se debe:

- a. Realizar un estudio geohidrológico que tenga como objetivo definir el tipo de confinamiento hidráulico del agua subterránea en el sitio, la granulometría y litología sobreyacente a la zona saturada y la profundidad del agua subterránea.
- b. Con base en los resultados del estudio geohidrológico se evaluará la vulnerabilidad del acuífero de acuerdo con el Anexo Normativo 2 de la NOM-141-SEMARNAT-2003.
- c. Verificar la existencia de aprovechamientos hidráulicos subterráneos en una franja perimetral de 1 000 m alrededor de los límites del sistema de lixiviación, indicando su ubicación en coordenadas geográficas, las características constructivas y el uso del agua.

**5.3.3. Vida Silvestre.**

**5.3.3.1.** El sitio seleccionado debe corresponder a un área no clasificada como hábitat crítico de acuerdo con lo establecido por la Ley General de Vida Silvestre y su Reglamento.

**5.3.3.2.** Se debe identificar la presencia en el sitio de especies de la vida silvestre que se encuentren en alguna categoría de riesgo, de conformidad con lo establecido en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

**5.3.3.3.** Se deben determinar los tipos de vegetación que serán afectados, especificando la superficie por cada tipo de vegetación, así como la densidad y abundancia relativa por especie con nombres comunes y científicos.

**5.3.3.4.** Los tipos de vegetación deben ser determinados de acuerdo con la clasificación de la vegetación y uso de suelo del INEGI, que estará a disposición de los interesados en las delegaciones federales de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en los Estados (Uso de Suelo y Vegetación Serie IV, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2007).

**5.3.4.** El reporte que contenga los resultados de la caracterización del sitio, referida en el numeral 5.3, incluirá las fuentes de referencia. Estos resultados deben ser considerados en la elaboración del proyecto del sistema de lixiviación.

**5.4. Criterios de preparación del sitio y de la obra.**

Se debe preparar el sitio para evitar o mitigar el daño sobre los elementos identificados, para lo anterior, se debe proceder de la siguiente manera:

**5.4.1. Vida Silvestre.**

**5.4.1.1.** Las especies en riesgo, que se localicen en el área del proyecto, deben ser protegidas, según el caso, mediante proyectos de conservación y recuperación o mediante el establecimiento de medidas especiales de manejo y conservación del hábitat, conforme lo establece la Ley General de Vida Silvestre y su Reglamento, apegándose a la normatividad de referencia.

**5.4.1.2.** Previamente a las actividades de desmonte, se deben identificar las especies arbóreas que se conservarán *in situ* o se integren al diseño de áreas verdes, así como las especies biológicas de especial interés susceptibles de trasplante, y aquellas con algún tipo de valor regional o biológico.

**5.4.1.3.** Se deben definir y ubicar superficies cercanas al área de afectación con dimensiones y condiciones ambientales que permitan reubicar, trasplantar, reforestar o, en su caso, reproducir a partir del material parental nativo, una cantidad de individuos de especies con alguna categoría de riesgo, endémicas y de difícil regeneración, similar a la original.

**5.4.1.4.** Se debe desarrollar un proyecto de conservación y recuperación que defina y señale las zonas en que se mantendrán las especies con alguna categoría de riesgo, endémicas y de difícil regeneración; el proyecto incluirá áreas de conservación para las especies, para el acopio de material vegetal representativo del sitio y se deberán aprovechar las semillas de vegetales susceptibles de ser empleadas en los trabajos de restauración del sitio.

**5.4.1.5.** Las labores de reubicación, trasplante y monitoreo se deben realizar con métodos que garanticen una sobrevivencia de 95% o superior de los ejemplares reubicados o trasplantados; de no ser posible se reemplazarán los ejemplares de flora muertos por individuos de la misma especie obtenidos o producidos en viveros.

**5.4.1.6.** El desmonte y despalde debe permitir el desplazamiento de la fauna hacia zonas menos perturbadas.

**5.4.1.7.** Cuando exista material producto del desmonte, proveniente de individuos de especies herbáceas y arbustivas no rescatables, se deberá triturar e incorporar al suelo almacenado o, si tiene algún valor, donarlo.

**5.4.1.8.** Se deben establecer las medidas necesarias que limiten el acceso de especies de fauna silvestre a las soluciones ácidas del patio y terreros.

#### **5.4.2. Suelo.**

**5.4.2.1.** De manera previa a la construcción de obras, los suelos deben ser retirados para aprovecharlos en las actividades de reforestación o recuperación de la cubierta vegetal.

**5.4.2.2.** El sitio de almacenamiento temporal del suelo rescatado debe contar con medidas de protección que eviten pérdidas por erosión eólica o pluvial.

**5.4.2.3.** Se deberá obtener una caracterización con el fin de conocer los valores de fondo en el sitio, los cuales se verificarán al término de las operaciones para descartar la contaminación del suelo.

#### **5.4.3. Hidrología.**

**5.4.3.1.** La preparación del sitio para construir un sistema de lixiviación debe incluir medidas de prevención de inundaciones y control de la contaminación, a través de obras de ingeniería que acrediten técnicamente que no se afectará a los cuerpos de aguas superficiales, a los acuíferos o a los aprovechamientos hidráulicos subterráneos.

**5.4.3.2.** Con base en la información que se genere, relativa a la hidrología subterránea, se adaptará el sitio en que se ubicará el área de lixiviación y se ejecutarán las obras complementarias necesarias para contener los lixiviados.

**5.4.3.3.** La protección del suelo y de los cuerpos de agua subterránea, se debe lograr a través de barreras geológicas naturalmente impermeables o la combinación de éstas y otras barreras artificialmente impermeables, con un estricto control de calidad, de acuerdo con las especificaciones de construcción.

**a.** En el caso de que existan barreras geológicas naturalmente impermeables debe asegurarse que la permeabilidad de la zona vadosa del área en que ocurra la lixiviación sea equivalente a la que se tiene en un estrato de 5 m de espesor mínimo y con una conductividad hidráulica menor o igual que  $1 \times 10^{-9}$  m/s.

**b.** En el caso contrario, en dicha área se utilizará un sistema combinado de barrera geológica artificialmente impermeable y geomembrana sintética; para ello se deberá instalar un recubrimiento que provea una contención igual o mayor que la que provee una geomembrana sintética colocada en la parte superior de una capa impermeable compactada de 30 centímetros de suelo arcilloso, para alcanzar un coeficiente de permeabilidad de por lo menos  $1 \times 10^{-8}$  m/s.

**5.4.3.4.** En el caso de existir un acuífero vulnerable se deben construir al menos un pozo de monitoreo aguas arriba y un pozo aguas abajo, conforme a los resultados del estudio geohidrológico del sitio. Se debe asegurar un monitoreo periódico y confiable del acuífero.

#### **5.5. Criterios de proyecto.**

##### **5.5.1. Determinación de la magnitud de riesgos físicos y criterios de proyecto del patio y terreros.**

**5.5.1.1.** Se deben prever, desde el proyecto del sistema de lixiviación, las medidas necesarias que minimicen los posibles riesgos derivados de derrames o fugas, por la falla parcial o total del patio o terrero.

**5.5.1.2.** En el Anexo Normativo 4, se establecen criterios y se recomiendan los métodos de análisis de estabilidad y de monitoreo más apropiados, conforme a las condiciones topográficas, hidrológicas y sísmicas bajo las cuales se desarrollará el proyecto.

**5.5.1.3.** Para asegurar la estabilidad de la obra durante el proyecto, construcción y operación del proceso de lixiviación, se deben considerar las intensidades relativas de riesgo por:

- Capacidad de carga del terreno de cimentación
- Estabilidad de taludes de las pilas
- Asentamientos diferenciales
- Esfuerzos cortantes y/o resistencias friccionantes de los materiales
- Rotura del recubrimiento
- Erosión en la superficie de las pilas por efecto de las lluvias
- Derrames de lixiviados por efecto de tormentas

**5.5.2.** Criterios de proyecto para la construcción.

**5.5.2.1.** La construcción de los patios y terreros de lixiviación deberá ajustarse a los siguientes criterios de proyecto:

- Establecer en planos y otros documentos las especificaciones de calidad a que se sujetará la obra.
- Establecer una altura máxima de la pila, conforme a los estudios geotécnicos.
- Proveer bermas entre las camas de mineral para conseguir un adecuado ángulo de estabilidad en la pendiente media final de las pilas.
- Tener un buen diseño que refuerce la base del apilamiento principalmente al pie del talud.
- Incluir previsiones para minimizar el riesgo de la presión de poro del líquido contenido en la pila del mineral.
- Proveer bermas en el perímetro de las pilas para evitar escurrimientos de la solución fuera del sistema de colección y conducción establecido.
- Garantizar la integridad de los cuerpos de agua subterránea.

**5.5.2.2.** Debe asegurarse que el sitio seleccionado para la localización del sistema de lixiviación sea capaz de soportar y almacenar el volumen de mineral a lixiviar proyectado, conforme a la vida útil del sistema, considerando la clasificación por tamaño y peso volumétrico del material.

**5.5.2.3.** Debe asegurarse la estabilidad del sistema, considerando la topografía del terreno, la hidrología de la zona y la sismicidad de la región, así como la geometría de la pila seleccionada. En la elaboración del proyecto se deben incorporar los criterios de intensidad relativa de riesgo geotécnico e hidráulico, así como los criterios sobre análisis de estabilidad y monitoreo descritos en el Anexo Normativo 4.

**5.5.2.4.** Los asentamientos diferenciales máximos deberán ser tales que eviten la formación de grietas y fisuras en la pila, así como en la plataforma, y se asegure la estabilidad de la obra sin infiltraciones, sobre todo bajo el terreno de cimentación natural.

**5.5.2.5.** En el diseño y construcción de canales de desvío, trincheras, piletas de sedimentación, canales de descarga, diques, etc., se debe considerar la hidrología superficial del sitio, con el fin de impedir entradas de escurrimientos de agua al sistema y los derrames de solución.

**5.5.2.6.** El recubrimiento utilizado en el patio debe soportar el tipo de solución, la carga física del material, el tipo de clima a que estará expuesto, así como el sistema de descarga del mineral.

**5.6.** Criterios de construcción y operación.

**5.6.1.** Los responsables de estas actividades asegurarán y vigilarán que se cumplan los niveles de calidad establecidos en las especificaciones del proyecto, tanto en geometría y acabados, como en materiales y procedimientos constructivos.

**5.6.2.** El proyectista podrá aceptar ajustes o mejoras durante la construcción y operación, con base en la retroalimentación de los resultados obtenidos.

**5.6.3.** Las actividades de excavación, nivelación, compactación y relleno necesarios para la preparación del sitio deben garantizar su impermeabilización, así como la conservación de la capacidad de drenaje natural de la zona.

**5.6.4.** Todas las piletas deben tener una geomembrana sintética impermeable con propósitos de contención, para evitar el posible daño ambiental por la fuga de las soluciones.

**5.6.5.** Se debe disponer de un sistema de detección y control de fugas y/o derrames de las soluciones en las pilas, así como en las piletas de solución.

**5.6.6.** Cuando la circulación de las soluciones se realice por gravedad a través de canales o conductos abiertos, se debe asegurar que no habrá derrames e infiltraciones. En caso de derrames e infiltraciones se deben colocar avisos de advertencia ubicados en forma apropiada, según las condiciones de topografía y visibilidad del sitio.

**5.6.7.** Dependiendo de los métodos y los materiales utilizados para su construcción, todos los canales abiertos que transporten fluidos de proceso deberán monitorearse con un sistema de detección y control de fugas.

**5.6.8.** La impermeabilidad de la plataforma debe mantenerse hasta que al patio y a los terreros se les haya eliminado totalmente la peligrosidad y estén completamente estabilizados.

**5.6.9.** Las piletas cuyo propósito sea contener la solución del proceso, con excepción de la piletas de emergencia, deben tener una geomembrana sintética primaria y una secundaria, así como un sistema de recuperación de los fluidos que penetren la geomembrana primaria, en caso de rotura de la misma. Para ello, debe colocarse entre ambas geomembranas un material que tenga la habilidad de transportar rápidamente dichos fluidos hasta el punto del sistema de recolección, donde será recuperado.

**5.6.10.** Cuando se detecte solución de proceso en el punto del sistema de recolección, donde serán recuperados los fluidos, la piletas debe ser sacada de operación para su reparación.

**5.6.11.** Se deben implementar medidas conducentes a mitigar las emisiones de polvos, gases y partículas a la atmósfera, provenientes de la construcción, operación y cierre del patio y terrero, con el fin de evitar que lleguen a algún centro de población y alteren la calidad del aire.

**5.6.12.** Alrededor de las piletas debe instalarse un cerco de protección perimetral como medida de protección para la fauna silvestre.

**5.6.13.** Se deben instalar sistemas cuyo propósito sea ahuyentar e impedir la presencia de aves en las piletas de solución.

**5.6.14.** Deben establecerse fuentes alternas de agua fresca para consumo de la fauna silvestre presente en el sitio.

**5.6.15.** Las piletas de emergencia deben vaciarse completamente a la brevedad posterior a un evento de precipitación, para el caso de que sea necesario utilizarlas debido a la ocurrencia de la siguiente lluvia.

**5.6.16.** Los sistemas de conducción y bombeo de soluciones deben contar con un programa de conservación y mantenimiento preventivo con el fin de que siempre estén en condiciones de operación y minimizar riesgos de derrames.

**5.6.17.** Se debe identificar las posibilidades de saturación y alta presión del agua en los intersticios y desplazamiento de estratos de material arcilloso subyacente en el sitio, que eventualmente pudieran ser causa de asentamientos diferenciales del patio o de los terreros y, en su caso, tomar las medidas preventivas en las etapas de selección del sitio, proyecto y construcción.

**5.6.18.** Se deben instalar testigos topográficos de asentamientos y registrar las observaciones al final del periodo de estiaje y de lluvias, con el fin de prevenir asentamientos diferenciales del terreno que impliquen posibles roturas o agrietamientos de la capa impermeable.

**5.7.** Criterios de supervisión y control de calidad.

**5.7.1.** El responsable de la supervisión deberá revisar, verificar y, en su caso, sugerir los cambios para mejorar los planos de proyecto y otros documentos establecidos por el proyectista, para su anuencia.

**5.7.2.** El responsable del control de calidad deberá certificar en forma ágil y oportuna, los niveles de calidad (especificaciones) para que se cumpla lo establecido en el proyecto.

**5.8.** Criterios de cierre.

**5.8.1.** Estabilidad química

**5.8.1.1.** Una vez que se ha terminado con la recuperación del cobre, y con el fin de definir las medidas de protección ambiental para el cierre del patio, deberán considerarse los resultados de la evaluación del potencial de generación de lixiviados, tomando en cuenta las características de peligrosidad del mineral gastado conforme al inciso 5.2. y la información climática referida en el inciso 5.3.2.3.

El proyecto de cierre debe estar soportado por un análisis de la tasa de generación de lixiviados esperada en el largo plazo, con lo cual, se deberán tomar las medidas necesarias para cerrar el apilamiento de mineral gastado de manera tal, que no se generen efluentes en los que:

**a.** Los niveles de metales y metaloides rebasen los valores de fondo en agua definidos conforme al inciso 5.8.1.4. Cuando los valores de fondo antes de la operación del sistema, se encuentren por abajo de los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 3 de la NOM-001-SEMARNAT-1996, se tomarán como valores de referencia los establecidos en dicha norma, y

**b.** El nivel del potencial hidrógeno (pH) esté entre 5 y 10 unidades.

Para cumplir con lo anterior, se deberán realizar una o más de las siguientes medidas:

**1.** Control en la fuente.- Remoción o aislamiento de los constituyentes de preocupación ambientalmente disponibles en el mineral gastado.

**2.** Control de la migración.- Limitación de la cantidad de lixiviado que se puede formar y migrar a través del apilamiento de mineral gastado.

**3.** Intercepción y tratamiento.- Es la intercepción de los lixiviados formados para que sean efectivamente tratados antes de su descarga a los cuerpos receptores.

Se entenderá que se llegó al equilibrio cuando los valores se mantengan a través del tiempo.

**5.8.1.2.** Para la caracterización del efluente de la pila durante el proceso de remoción de soluciones ácidas, debe realizarse el muestreo y análisis de dicho efluente, formando una muestra de 24 horas compuesta por 4 muestras individuales de 1 litro, tomadas cada 6 horas dos veces al mes, durante el proceso de remoción de soluciones ácidas.

**5.8.1.3.** La toma y preservación de las muestras se realizarán conforme a las siguientes normas: Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011 y Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001.

**5.8.1.4.** Los valores de fondo se obtendrán antes de la operación del sistema, de muestras representativas tomadas de los cuerpos de agua ubicados en la subcuenca hidrológica correspondiente al sitio, que permitan determinar las concentraciones de metales y metaloides en cuerpos de agua no alterados antropogénicamente.

**5.8.1.5.** En caso de que después del periodo estimado por la empresa para la remoción de las soluciones ácidas, no se logre cumplir con los límites establecidos en el numeral 5.8.1.1, se procederá a iniciar el cierre de la pila aplicando las medidas de estabilización física, prevención de dispersión de contaminantes y rehabilitación, evitando la generación de lixiviados que pudieran afectar cuerpos de agua.

**5.8.1.6.** Debe tenerse un reporte del proceso de lavado en el que se registre la evolución de la calidad del efluente. Se deberán documentar los periodos de duración y procedimiento de lavado, técnicas de muestreo y análisis, así como la curva de disminución de los parámetros señalados.

**5.8.2.** Estabilización del sistema de lixiviación.

**5.8.2.1.** De conformidad con los registros indicados en el numeral 5.2.1.7, se procederá de la siguiente forma:

**a.** En el caso de que la valoración de los resultados de las pruebas registradas en la bitácora indiquen que el mineral gastado o lixiviado no es peligroso, se procederá a la estabilización física del depósito de acuerdo con las medidas señaladas en el numeral 5.8.3. y con las medidas para restaurar el sistema de lixiviación establecidas en el numeral 5.8.5.

**b.** En el caso de que la valoración de los resultados de las pruebas registradas en la bitácora indiquen que el mineral gastado o lixiviado es peligroso, se deberán cumplir con las medidas indicadas en los numerales 5.8.3. y 5.8.4., y llevar a cabo las medidas para restaurar el sistema de lixiviación establecidas en el numeral 5.8.5.

**5.8.2.2.** En el caso de los sistemas de lixiviación que conforme al capítulo 2, ingresen a la fase de cierre, deberán cumplir con las medidas indicadas en los numerales 5.8.3. y 5.8.4., y llevar a cabo las medidas para restaurar el sistema de lixiviación establecidas en el numeral 5.8.5.

**5.8.3** Estabilización física.

**5.8.3.1.** Una vez que se haya concluido el proceso de lavado de la pila, se deben implementar medidas de prevención y control para garantizar la estabilidad física de la pila en el largo plazo.



**5.8.3.2.** Para asegurar la disminución de fenómenos de erosión eólica e hídrica, se deben realizar las obras complementarias necesarias en el vaso y taludes del sistema, tales como:

**a.** Reconfigurar los taludes, a partir de un análisis de estabilidad de taludes, apoyado en los resultados de un estudio geotécnico, que incluya pruebas de laboratorio, para lograr una pendiente adecuada que permita disminuir procesos de erosión.

**b.** Construir bermas sobre el talud para reducir la erosión hídrica y poder canalizar el agua pluvial de escurrimiento.

**c.** Construir obras de drenaje en el perímetro de la pila para evitar el ingreso del agua de escurrimiento captada de la subcuenca hidrológica.

**5.8.4.** Prevención de dispersión de contaminantes.

**5.8.4.1.** Para evitar y controlar la generación de drenaje ácido y la liberación y movilidad de los elementos químicos normados e impedir que los drenajes afecten suelos y cuerpos de agua superficiales y subterráneos, se utilizarán tratamientos químicos, físicos o biológicos o su combinación.

**5.8.5.** Medidas para la restauración del sistema de lixiviación.

**5.8.5.1.** Se deben implementar medidas de reforestación de pilas y piletas de manera que se reincorpore el sitio al paisaje del lugar, sin que se afecten las medidas para la estabilización física y química del patio y de los terreros establecidas en los numerales 5.8.3. y 5.8.4.

**5.8.5.2.** En el caso de que la pila de mineral gastado resulte no peligrosa, se deberán llevar a cabo las siguientes medidas que permitan reintegrar el sitio al paisaje del lugar:

**a.** Cubrir la superficie de la pila con el suelo recuperado, de ser el caso, o con materiales que permitan la fijación de especies vegetales.

**b.** Promover la restauración forestal con especies vegetales nativas de la región, para garantizar su sucesión y permanencia con un mínimo de conservación.

**5.8.5.3.** En el caso de que la pila de mineral gastado resulte peligrosa, además de las medidas establecidas en 5.8.5.2., se deberán construir sobre la pila, obras de drenaje para canalizar los escurrimientos del agua pluvial hacia el exterior, asegurando que el agua no penetre en la pila.

**5.8.5.4.** Las piletas de solución preñada y gastada deben rehabilitarse considerando:

**a.** Su relleno con material no peligroso.

**b.** El aseguramiento de la capacidad de drenaje de agua superficial conforme al que existía de manera previa a la afectación.

**5.8.5.5.** Se debe realizar el cierre de la planta metalúrgica y la limpieza y el desmantelamiento de la misma, a menos que tengan una utilidad para la empresa o para terceros.

**5.9.** Monitoreo durante la construcción, operación y cierre del sistema de lixiviación.

**5.9.1.** Monitoreo de la calidad de las aguas.

**5.9.1.1.** Durante la construcción, operación y cierre del sistema de lixiviación, se debe realizar el monitoreo de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, aguas arriba y aguas abajo, que puedan encontrarse en el sitio seleccionado.

**5.9.1.2.** En los cuerpos de agua superficiales potencialmente afectables por el sistema de lixiviación, deben definirse puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo de dicho sistema.

**5.9.1.3.** En el caso de acuíferos vulnerables los puntos de muestreo están definidos por los pozos referidos en el numeral 5.4.3.4

**5.9.1.4.** Cada pozo de monitoreo de aguas subterráneas debe contar con un registro que indique el número o clave de identificación; la ubicación geográfica en coordenadas (x, y, z), ligadas a un mismo banco de referencia; el corte litológico de las formaciones atravesadas; las características constructivas; el diámetro, la profundidad total y el proyecto de terminación; así como los resultados de los análisis fisicoquímicos que se realicen en este punto.

**5.9.1.5.** Desde un año antes del inicio de la construcción del sistema de lixiviación deberá realizarse el monitoreo de la calidad de las aguas en dichos puntos de muestreo consistente en la toma y el análisis de al menos dos muestras de agua en cada punto, una en la época de estiaje y otra en la de lluvias.

Las técnicas de muestreo de cuerpos de agua podrán ser las contenidas en la NMX-AA-014-1980 o la NMX en la materia vigente, o en las normas ISO 5667-6:2005 e ISO 5667-3:2003.

**5.9.1.6.** Los resultados del monitoreo aguas arriba, se deben comparar con los de aguas abajo. Cuando los resultados de la calidad del agua monitoreada registren una elevación en el índice de contaminantes, con respecto a la calidad del agua aguas arriba, se deben llevar a cabo las medidas de corrección y saneamiento pertinentes para restaurar su calidad, y sujetarse a las disposiciones establecidas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

**5.9.1.7.** Se deberá efectuar la caracterización física en cuanto a pH, conductividad eléctrica, temperatura y química del agua subterránea nativa en cuanto a arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc, así como con respecto a los parámetros directamente asociados a la generación de lixiviados derivados de las obras del sistema de lixiviación. La caracterización se debe realizar directamente en el sitio de interés o a través del muestreo semestral en los aprovechamientos hidráulicos subterráneos aledaños a las obras del sistema de lixiviación. Para ello, se tomarán al menos dos muestras de agua subterránea, una aguas arriba y otra aguas abajo del sitio seleccionado.

**5.9.2.** Protección de especies en riesgo.

**5.9.2.1.** Cuando se desarrolle un proyecto de acuerdo al numeral 5.4.1.4, se deben establecer registros en bitácoras de las actividades con respecto a la conservación de especies en riesgo y rescate de flora y fauna. Esto debe aplicarse desde el inicio de las actividades del proyecto, además de contar con evidencia fotográfica o videográfica. Las acciones de monitoreo deben realizarse con una periodicidad de seis meses.

**5.9.2.2.** El monitoreo de las condiciones en que se encuentran los especímenes de vida silvestre rescatados se concluirá cuando sean capaces de subsistir en las condiciones prevalecientes.

**5.9.2.3.** Se debe mantener una bitácora y evidencia gráfica, de todas las actividades realizadas durante el monitoreo de flora.

**5.10.** Monitoreo posterior al cierre.

**5.10.1.** Monitoreo de cuerpos de agua.

Se debe contar con un programa de monitoreo que permita evaluar la eficacia de las acciones de protección aplicables. Se debe realizar un muestreo anual de los acuíferos durante 20 años a partir de la fecha del cierre del sistema, cuando el mineral lixiviado o gastado haya resultado peligroso o en caso de sistemas que ingresen a la fase de cierre, conforme al capítulo 2.

En caso de que el mineral gastado sea no peligroso, el monitoreo se sujetará a lo indicado en el numeral 5.10.1.2.4.

**5.10.1.1.** Monitoreo de aguas superficiales.

**5.10.1.1.1.** El monitoreo de las aguas superficiales en los sitios aledaños al sistema, se debe realizar de acuerdo a las consideraciones del numeral 5.3.2.3.5. d).

**5.10.1.1.2.** Se debe tomar como base la normatividad vigente sobre descargas de aguas residuales, con respecto a arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc, así como a los metales y compuestos químicos, representativos del proceso; límites máximos permisibles; cuerpos receptores y usos indicados; y frecuencias de monitoreo. En su caso, se tomará como base la calidad del agua que sea monitoreada aguas arriba del sistema.

**5.10.1.1.3.** Cuando los resultados de la calidad del agua monitoreada registren una elevación en el índice de contaminantes con respecto a la calidad de agua determinada en el numeral 5.3.2.3.5. d) y ese cambio en la calidad se relacione con la operación del sistema, se deben llevar a cabo las medidas de corrección pertinentes para restaurar su calidad, y sujetarse a las disposiciones establecidas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

**5.10.1.2.** Monitoreo de aguas subterráneas.

**5.10.1.2.1.** El monitoreo de aguas subterráneas debe efectuarse a través de los pozos construidos conforme al numeral 5.4.3.4.

**5.10.1.2.2.** Para el muestreo representativo y análisis del agua subterránea, se deben considerar los parámetros utilizados en la caracterización física y química del agua subterránea, conforme a lo indicado en el numeral 5.9.1.7.

**5.10.1.2.3.** Los resultados del monitoreo en el pozo aguas arriba, se deben comparar con los del pozo de monitoreo aguas abajo. Cuando los resultados de la calidad del agua monitoreada registren una elevación en el índice de contaminantes, con respecto a la calidad del agua nativa determinada en el numeral 5.9.1.7, se deben llevar a cabo las medidas de corrección y saneamiento pertinentes para restaurar su calidad, y sujetarse a las disposiciones establecidas en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

**5.10.1.2.4.** El monitoreo de aguas superficiales y subterráneas podrá concluirse una vez cumplidas las condiciones a y b del numeral 5.8.1.1 y del numeral 5.8.2.1 a) de esta norma, siempre y cuando el mineral lixiviado o gastado no sea peligroso conforme a lo establecido en el numeral 5.2.

**5.10.1.2.5.** Se debe realizar el monitoreo de los testigos topográficos conforme a lo establecido en el numeral 5.6.18.

#### **5.10.2. Sismología.**

**5.10.2.1.** Cuando el patio o el terrero se ubique en una región sísmica, de acuerdo con la Figura 2, debe mantenerse en operación un sismógrafo.

**5.10.2.2.** Cuando los datos del sismógrafo o los testigos topográficos indiquen riesgo de derrumbe o desborde, deben realizarse las acciones de estabilización de los taludes que sean necesarias.

#### **5.10.3. Protección de especies en riesgo.**

**5.10.3.1.** En el proyecto señalado en el numeral 5.4.1.4, se deben establecer registros de los resultados del mismo con respecto a la conservación de especies en riesgo y rescate de flora y fauna. Esto debe aplicarse desde el inicio de las actividades del sistema, además de contar con evidencia fotográfica o videográfica. Las acciones de monitoreo deben realizarse con una periodicidad de seis meses.

**5.10.3.2.** El monitoreo de las condiciones en que se encuentran los especímenes de vida silvestre rescatados se concluirá cuando sean capaces de subsistir en las condiciones prevalecientes.

**5.10.4.** Se deben realizar muestreos perimetrales de partículas suspendidas totales en el aire, a fin de garantizar que no se modifica la calidad del aire por la operación del patio, conforme a la NOM-035-SEMARNAT-1993, con la frecuencia señalada en el punto 14.1 de la citada norma.

**5.10.5.** Se debe mantener una bitácora y evidencia gráfica, de todas las actividades realizadas durante el monitoreo y en la etapa de cierre.

### **6. Procedimiento para la evaluación de la conformidad.**

**6.1.** Para efectos de este procedimiento, se deben considerar las definiciones contenidas en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

**6.2.** La Evaluación de la Conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana, se realizará en los términos establecidos por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

**6.3.** La evaluación de la conformidad se realizará para las etapas contenidas en el numeral 5 de esta Norma Oficial Mexicana, mediante la verificación de las actividades que se estén desarrollando en su momento, conforme a las acciones que a continuación se señalan:

**6.3.1.** En relación con la determinación de la peligrosidad del mineral lixiviado o gastado, verificar:

**6.3.1.1.** Los registros en libretas de campo, bitácoras, o información del Plan de muestreo y, manejo y control de la muestra, para constatar que las muestras de mineral sobre las que se aplicarán las pruebas de caracterización hayan sido tomadas de las pilas de proceso (numeral 5.2.1.3) o de muestras provenientes de la etapa de exploración (numeral 5.2.1.4).

**6.3.1.2.** Los registros en libretas de campo, bitácoras, informes de resultados de laboratorio e información del Plan de muestreo y, manejo y control de la muestra para constatar que las pruebas de caracterización se apliquen a muestras compuestas de mineral fresco (numerales 5.2.1.1 y 5.2.1.4).

**6.3.1.3.** Los registros en libretas de campo, bitácoras, informes de resultados de laboratorio e información del Plan de muestreo y, manejo y control de las muestras que se hayan conformado como muestras compuestas (numerales 5.2.1.4 y 5.2.1.4.3), y que éstas hayan sido lixiviadas o gastadas (numerales 5.2.1.4.3.2 y 5.2.1.5.3) previo a la aplicación de las pruebas de peligrosidad (numeral 5.2.2).

**6.3.1.4.** Que el Plan de muestreo y manejo y control de la muestra, haya sido elaborado conforme a las consideraciones contenidas en el Anexo Normativo 1.

**6.3.1.5.** Mediante revisión de la información contenida en el Plan de muestreo y, manejo y control de la muestra y registros en bitácora, que el número de muestras individuales por mes, haya sido determinado de conformidad con los criterios establecidos en el numeral 5.2.1.5 de la norma, tratándose de muestras de mineral extraído de la mena durante su minado, y conforme al numeral 5.2.1.4.1, cuando se trate de muestras tomadas durante la etapa de exploración.

**6.3.1.6.** Que las muestras se conserven en un almacén debidamente etiquetadas, con los controles de calidad necesarios (numeral 5.2.1.8).

**6.3.1.7.** Los informes de laboratorio y registros en bitácora, mediante los que se compruebe que se aplicaron las pruebas de lixiviación a escala real, para obtener las muestras de mineral gastado (numerales 5.2.1.2, 5.2.1.5.3).

**6.3.1.8.** Las bitácoras y/o informes de laboratorio para comprobar que la peligrosidad de los residuos haya sido determinada mediante la aplicación de las pruebas indicadas en el numeral 5.2.2.

**6.3.1.9.** Mediante la información de las bitácoras anuales y/o informes de resultados de laboratorio, que se hayan realizado las pruebas de movilidad en aquellas muestras en que se supere alguno de los límites máximos establecidos en el Cuadro 2 de la norma (numeral 5.2.2.1.2).

**6.3.1.10.** A partir de los informes de resultados de laboratorio, la adecuada clasificación de peligrosidad de los residuos, conforme a los numerales 5.2.2.1.3, 5.2.2.2.2 y 5.2.2.3.

**6.3.2.** En relación con la caracterización del sitio, verificar:

**6.3.2.1.** La existencia y contenido del proyecto del sistema de lixiviación, el cual deberá considerar los aspectos geotécnicos, hidrológicos y de vida silvestre, de acuerdo con lo establecido en el numeral 5.3.

**6.3.3.** Durante la preparación del sitio y de la obra, verificar:

**6.3.3.1.** La existencia y contenido de los proyectos de conservación y recuperación, o medidas especiales de manejo y conservación del hábitat, de acuerdo al numeral 5.4.1.1.

**6.3.3.2.** Que los proyectos de conservación y recuperación y las medidas referidas en el numeral anterior se apeguen a lo establecido a la regulación existente (numeral 5.4.1.1).

**6.3.3.3.** La existencia y contenido del estudio en el que se identificaron las especies arbóreas que se conservarán *in situ* y las biológicas de especial interés susceptibles de trasplante, y aquellas con algún tipo de valor regional o biológico, de acuerdo al numeral 5.4.1.2.

**6.3.3.4.** La superficie para reubicar, trasplantar, reforestar o reproducir a los individuos de especies con alguna categoría de riesgo, endémicas y de difícil regeneración, de acuerdo al numeral 5.4.1.3.

**6.3.3.5.** La existencia y contenido del proyecto de conservación y recuperación, así como de las zonas donde se mantendrán las especies con alguna categoría de riesgo, de acuerdo al numeral 5.4.1.4.

**6.3.3.6.** La existencia y contenido del método que garantice una sobrevivencia del 95% o más de los ejemplares reubicados o trasplantados, de acuerdo al numeral 5.4.1.5.

**6.3.3.7.** Físicamente o a través de bitácoras, que el desmonte y despalme se realice o se haya realizado, de acuerdo al numeral 5.4.1.6.

**6.3.3.8.** Los estudios y las justificaciones mediante los cuales se fundamenta el considerar como no rescatable y susceptible de ser triturado o donado, el material producto del desmonte proveniente de individuos de especies herbáceas y arbustivas conforme al numeral 5.4.1.7.

**6.3.3.9.** Inspección ocular de las medidas implementadas para limitar el acceso de fauna silvestre a las soluciones ácidas, de acuerdo al numeral 5.4.1.8.

**6.3.3.10.** De manera presencial y a través de información documental de que el sitio de almacenamiento temporal del suelo rescatado cuente con las medidas de protección necesarias para evitar pérdidas por erosión eólica o pluvial, como lo establece el numeral 5.4.2.2.

**6.3.3.11.** El estudio de caracterización realizado con el fin de conocer los valores de fondo del suelo en el sitio y los resultados, de acuerdo con el numeral 5.4.2.3.

**6.3.3.12.** La existencia y características técnicas de las obras de ingeniería implementadas durante la preparación del sitio, para prevenir inundaciones y controlar la contaminación, de acuerdo al numeral 5.4.3.1, mediante revisión documental y visita de campo.

**6.3.3.13.** Que se haya tomado en cuenta la hidrología subterránea existente en el sitio en que se ubicará el área de lixiviación y las obras complementarias para contener lixivados, de acuerdo al numeral 5.4.3.2, mediante revisión documental y visita de campo.

**6.3.3.14.** Que mediante las barreras geológicas naturalmente impermeables y/o barreras artificiales instaladas, se cumpla con lo indicado en el numeral 5.4.3.3, mediante revisión documental y visita de campo.

**6.3.3.15.** Que la instalación de los pozos de monitoreo de los acuíferos vulnerables se haya realizado tomando en cuenta los resultados de los estudios geohidrológicos del sitio, de acuerdo al numeral 5.4.3.4, mediante revisión documental y visita de campo.

**6.3.3.16.** Los registros de los resultados del monitoreo realizado a los acuíferos y la periodicidad con que se lleva a cabo (numeral 5.4.3.4).

**6.3.4.** En relación con los criterios del proyecto, verificar:

**6.3.4.1.** En planos y otros documentos, que los proyectos cuenten con los criterios indicados en el numeral 5.5.

**6.3.4.2.** La existencia y contenido de las medidas que minimicen los posibles riesgos derivados de derrames o fugas, de acuerdo al numeral 5.5.1.1.

**6.3.4.3.** Que el proyecto cuente con los criterios establecidos en el Anexo Normativo 4, de acuerdo al numeral 5.5.1.2 y 5.5.2.3.

**6.3.4.4.** Que la construcción de los patios y los terreros de lixiviación se ajusten a los criterios establecidos en el numeral 5.5.2.1.

**6.3.4.5.** La existencia y contenido de estudios bajo los cuales se asegura que el sitio donde se ubican las pilas de lixiviación sea capaz de soportar y almacenar el volumen del mineral proyectado, de acuerdo con el numeral 5.5.2.2.

**6.3.4.6.** A través de los informes de análisis de las aguas subterráneas reportados en los muestreos realizados en los pozos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo, que no existan grietas, fisuras o filtraciones en la pila ni en la plataforma, conforme a lo indicado en el numeral 5.5.2.4.

**6.3.4.7.** En planos y visitas en campo, el diseño y construcción de canales de desvío, trincheras, piletas de sedimentación, canales de descarga, diques, etc., considerando la hidrología superficial del sitio, de acuerdo al numeral 5.5.2.5.

**6.3.4.8.** Los estudios realizados, así como las especificaciones del recubrimiento utilizado en el patio que demuestren su correcto funcionamiento para soportar el tipo de solución, la carga física del material, el clima al que estará expuesto y la descarga del mineral, de acuerdo con el numeral 5.5.2.6.

**6.3.5.** Respecto a los criterios de construcción y operación, verificar:

**6.3.5.1.** Mediante revisión documental de las especificaciones del proyecto, planos y documentos relacionados con la construcción y adquisición de materiales, que el sistema cumpla con los niveles de calidad establecidos para el proyecto (numeral 5.6.1).

**6.3.5.2.** Mediante visita de campo y pruebas *in situ* y/o de laboratorio, que durante las actividades de excavación, nivelación, compactación y relleno llevadas a cabo en la preparación del sitio, no se haya afectado la impermeabilización, ni la capacidad de drenaje natural de la zona, de acuerdo al numeral 5.6.3.

**6.3.5.3.** La existencia y especificaciones técnicas de la geomembrana sintética de las piletas, conforme al numeral 5.6.4, mediante visita de campo y revisión documental.

**6.3.5.4.** A través de los informes de análisis de las aguas subterráneas reportados en los muestreos realizados en los pozos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo, que no existan grietas, fisuras o filtraciones en la pila ni en el recubrimiento, conforme a lo indicado en el numeral 5.5.2.4.

**6.3.5.5.** Mediante inspección ocular, la existencia y el funcionamiento correcto del sistema de detección y control de fugas y/o derrames de las soluciones en las pilas, piletas de solución y en todos los canales abiertos que transporten fluidos de procesos, de acuerdo con los numerales 5.6.5 y 5.6.7.

**6.3.5.6.** Mediante inspección ocular y revisión de los informes de análisis de las aguas subterráneas reportados en los muestreos realizados en los pozos de monitoreo aguas arriba y aguas abajo, que la plataforma sea impermeable por lo menos hasta que se le haya eliminado totalmente la peligrosidad al patio y a los terreros y estén completamente estabilizados, de acuerdo al numeral 5.6.8.

**6.3.5.7.** Verificación ocular de la existencia de las geomembranas sintéticas primaria y secundaria, así como del sistema de recuperación de los fluidos que penetren la geomembrana primaria en caso de rotura de la misma, en las piletas empleadas en la contención de solución del proceso, de acuerdo al numeral 5.6.9.

**6.3.5.8.** Que no exista solución de proceso en el punto del sistema de recolección donde son recuperados los fluidos cuando las piletas se encuentran en operación, de acuerdo al numeral 5.6.10.

**6.3.5.9.** De manera ocular, la existencia y contenido de medidas para mitigar las emisiones de polvos, gases y partículas a la atmósfera, generadas en la construcción, operación y cierre del patio y terreros, de acuerdo al numeral 5.6.11.

**6.3.5.10.** Mediante inspección ocular, la existencia y características del cerco de protección perimetral alrededor de las piletas, del sistema para ahuyentar o impedir la presencia de aves en las piletas de solución y de fuentes alternas de consumo de agua para la fauna, de acuerdo con los numerales 5.6.12, 5.6.13 y 5.6.14.

**6.3.5.11.** Los registros en bitácora de operación relacionados con los eventos de precipitación y el vaciado de las piletas de emergencia, de acuerdo al numeral 5.6.15.

**6.3.5.12.** El programa de conservación y mantenimiento de los sistemas de conducción y bombeo de soluciones, de acuerdo con el numeral 5.6.16.

**6.3.5.13.** Los registros topográficos de asentamiento, conforme al numeral 5.6.18.

**6.3.6.** En relación con el cierre de la operación, verificar:

**6.3.6.1.** Que se lleve a cabo una o más de las medidas para cerrar el apilamiento de mineral gastado, de manera que no se generen efluentes y se cumplan con los criterios indicados en el numeral 5.8.1.1.

**6.3.6.2.** Que el muestreo y la caracterización del efluente de la pila durante el proceso de remoción de soluciones ácidas se lleve a cabo conforme a lo señalado en los numerales 5.8.1.2 y 5.8.1.3.

**6.3.6.3.** Que los valores de fondo que se determinen en agua durante el proceso de lavado, se obtengan conforme a lo señalado en el numeral 5.8.1.4.

**6.3.6.4.** Que se lleven a cabo las medidas de estabilización conforme a lo indicado en los numerales 5.8.1.5, 5.8.2, 5.8.3 y 5.8.4.

**6.3.6.5.** Que se lleven a cabo las medidas para la rehabilitación y el monitoreo del sistema de lixiviación conforme a lo señalado en los numerales 5.8.5 y 5.9.

**6.3.6.6.** Verificar la existencia y contenido de los estudios de monitoreo de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, conforme al numeral 5.9.1.

**6.3.7.** En relación con el monitoreo posterior al cierre, verificar:

**6.3.7.1.** La existencia y contenido del programa de monitoreo anual para la etapa posterior al cierre, conforme al numeral 5.10.1.

**6.3.7.2.** La existencia y contenido de los reportes o informes de los monitoreos de sensores, sismógrafos y testigos topográficos, conforme a los numerales 5.10.1.2.5 y 5.10.2.1.

**6.3.7.3.** Los resultados de las acciones establecidas en el proyecto indicado en el numeral 5.4.1.4, a través de los registros existentes, así como de la evidencia fotográfica o videográfica con que se cuente, conforme a lo establecido en el numeral 5.10.3.1.

**6.4.** Tanto la unidad de verificación como la PROFEPA, podrán llevar a cabo los muestreos, análisis de laboratorio y estudios de campo que consideren necesarios para determinar la conformidad de esta Norma Oficial Mexicana. Las metodologías a emplear deberán ser documentadas y acordadas con la instancia a evaluar.

**6.5.** Cuando como resultado de la verificación se genere un informe técnico de no-conformidades, la instancia evaluadora lo notificará al usuario, dentro de los cinco días naturales siguientes, y programará una segunda visita de verificación para evaluar su cumplimiento.

**6.6.** Los dictámenes de las unidades de verificación serán reconocidos por las dependencias competentes, así como por los organismos de certificación y con base en ellos, podrán actuar en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y conforme a sus respectivas atribuciones.

## **7. Grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración.**

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana se consideraron lineamientos internacionales para los sistemas de lixiviación de cobre, establecidos en el manual denominado "Best Available Demonstrated Control Technology" del Programa de Protección de Acuíferos, a cargo del Departamento de Calidad Ambiental del Estado de Arizona, Estados Unidos de América.

## **8. Bibliografía.**

**a)** Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006.

**b)** Australia EPA (1995d). Monitoreo Ambiental y Desempeño. Guía de Mejores Prácticas de Manejo Ambiental de la Minería. Australia.

**c)** Australia EPA (1995e). Rehabilitación y Revegetación. Guía de Mejores Prácticas de Manejo Ambiental de la Minería. Australia.

- d)** Australia EPA (1997b). Manejo de Residuos con Sulfuros de la Minería y Drenaje Acido. Guía de Mejores Prácticas de Manejo Ambiental de la Minería. Australia.
- e)** Australia EPA (1998a). Contorneo para la Rehabilitación. Guía de Mejores Prácticas de Manejo Ambiental de la Minería. Australia.
- f)** Bruce Downing, M. Sc., P. Geo. "ARD Sampling and Sample Preparation". <http://technology.infomine.com/enviromine/ard/sampling/intro.html>
- g)** Estado de Arizona, Estados Unidos de América, Arizona Department of Environmental Quality, Arizona Mining Guidance Manual BADCT (Manual BADCT Guía de Operaciones Mineras en Arizona), Aqua Protection Program, Publication # TB 04-01.
- h)** Cámara Minera de México (Consultor: Raúl Vicente Orozco y Cía., S.A. de C.V.), septiembre 1991. Criterios Básicos para el Proyecto, la Construcción y la Operación de Presas de Jales.
- i)** IIED-MMSD (2002b). Minería para el Futuro: Reporte Principal. Reporte No. 68. Instituto Internacional para el Ambiente y el Desarrollo y Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sustentable.
- j)** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Edafología, 1994.
- k)** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Uso de Suelo y Vegetación Serie III, 2005.
- l)** Natural Resources Canada. CANMET. Lista de requerimientos potenciales de información para lixiviación de metales/evaluación de drenaje ácido de rocas y trabajos de mitigación. MEND Reporte 5.10E, enero 2005.
- m)** Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Programa de Industria y Medio Ambiente (2000). Guías Ambientales para Operaciones Mineras. ST/TCD/20, París, Francia.
- n)** Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Industria y Medio Ambiente (1998). Rehabilitación de Minas para la Protección Ambiental y de la Salud. Manual de Capacitación. Organización Mundial de la Salud y Programa Ambiental de las Naciones Unidas. París, Francia.
- o)** Universidad Nacional Autónoma de México, Regiones Sísmicas en México, Servicio Sismológico de la UNAM, 2003.
- p)** US EPA. Mining and Mineral Processing Compliance Assistance Resources for the Gold and Copper Industries (Guía de Apoyo para el Cumplimiento del Minado y Procesamiento de Mineral para las Industrias del Oro y del Cobre), marzo, 2007. <http://www.epa.gov/oecaerth/resources/publications/assistance/sectors/miningcompendium.pdf>
- q)** US EPA. Oficina de Residuos Sólidos. División de Residuos Especiales (1994). Extracción y Beneficio de Minerales. Volumen 4: Cobre, Documento Técnico. EPA 530-R-94-031. NTIS PB94-200979, Washington, D.C. <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/industrial/special/mining/techdocs/copper/copper1a.pdf>
- r)** US EPA, Background Report (Reporte de Antecedentes), AP-42 Sección 12.3, Primary Copper Smelting (Fundición Primaria de Cobre), OAQPS/TSD/EIB.

#### **9. Observancia de esta norma.**

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios, así como a la Comisión Nacional del Agua en el ámbito de su competencia. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Vida Silvestre y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

#### **TRANSITORIOS**

**PRIMERO.-** La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor a los sesenta días naturales siguientes de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

**SEGUNDO.-** Los sistemas de lixiviación de cobre en operación deben cumplir con el plan de cierre establecido en esta Norma Oficial Mexicana, siempre y cuando dicho plan no haya sido evaluado en la manifestación de impacto ambiental.

México, Distrito Federal, a diecisiete de enero de dos mil doce.- La Subsecretaria de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Presidenta del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales, **Sandra Denisse Herrera Flores.-** Rúbrica.

**Anexo Normativo 1. Plan de muestreo, manejo y control de la muestra****1. Plan de muestreo.****1.1. Consideraciones generales**

El propósito del plan de muestreo es:

- a. Organizar y definir los procedimientos aplicables.
- b. Establecer las responsabilidades de los participantes.
- c. Describir la técnica de muestreo.
- d. Programar las actividades a realizar durante el muestreo, su duración, así como las herramientas y medidas de seguridad.
- e. Definir las medidas de aseguramiento de calidad de las etapas de los procesos de muestreo.

**1.2. Consideraciones específicas**

**1.2.1.** Un plan de muestreo debe contener al menos la siguiente información:

- a. El lugar y la fecha de elaboración.
- b. El nombre y la firma de los responsables de su elaboración.
- c. El tipo de muestreo que se va a desarrollar, el propósito del mismo y los parámetros a determinar.
- d. El diseño del muestreo.
- e. El procedimiento de muestreo, materiales, equipos de muestreo y seguridad, recipientes, etiquetas y registros de campo.
  - f. Número de muestras.
  - g. La custodia de las muestras.
  - h. El procedimiento de aseguramiento y control de calidad del muestreo.
  - i. La descripción de actividades, responsables y tiempos de ejecución.
  - j. Anexos que soporten el plan de muestreo.

**1.2.2.** Para el muestreo de proyectos en operación que ingresan a la fase de cierre, el plan de muestreo deberá contener además:

- a. La localización del sitio, así como la delimitación y cuantificación de la superficie del área de muestreo. Se debe indicar en forma gráfica y/o escrita la localización geográfica y las vías de acceso al sitio.
  - b. La justificación para la ubicación, los criterios utilizados y el método para la distribución de puntos de muestreo, selección del tipo de muestreo y registro de parámetros de campo.
    - c. La ubicación y el número de puntos de muestreo
    - d. Número de muestras
    - e. Profundidad de las muestras.
- 2. Manejo y control de muestras.**

**2.1 Envasado y etiquetado de las muestras.**

**2.1.1** Al obtener las muestras del sitio, se debe registrar toda la información de muestreo en la libreta de campo.

**2.1.2** Las muestras deben ser envasadas y etiquetadas conforme a las siguientes especificaciones:

- a. El envase debe ser cerrado de manera hermética garantizando su inviolabilidad hasta su llegada al laboratorio.
- b. El etiquetado de los recipientes debe realizarse inmediatamente después de recolectar cada una de las muestras.
  - c. La etiqueta debe colocarse en un lugar visible y no sobrepasar las dimensiones del recipiente.
  - d. La etiqueta que acompañe a la muestra, debe incluir por lo menos su clave de identificación, lugar del muestreo o proyecto, y la fecha y hora del muestreo, así como las iniciales de la persona que toma la muestra.

**2.1.3** Una vez envasadas y etiquetadas, las muestras deben ser llevadas al laboratorio en donde serán preparadas y sometidas a los procesos de análisis correspondientes.

**2.2** Traslado de las muestras y cadena de custodia.



**2.2.1.** Durante el traslado es necesario evitar el efecto de factores externos que puedan cambiar la naturaleza de las muestras (por ejemplo, la temperatura y los rayos ultravioleta).

**2.2.2.** La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su toma, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis.

**2.3 La cadena de custodia debe contener, al menos:**

- a. El nombre de la empresa y responsable del muestreo.
- b. Los datos de identificación del sitio.
- c. La fecha del muestreo.
- d. Las claves de las muestras.
- e. Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- f. Los análisis o la determinación requerida.
- g. El número de envases.
- h. Observaciones.
- i. La identificación de las personas que participan en las operaciones de entrega y recepción en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha, hora y firma de los participantes.

**2.4 Libreta de campo.**

**2.4.1** Toda la información concerniente al muestreo en campo deberá ser anotada con tinta indeleble, en una libreta de campo foliada.

Los datos que deben anotarse en la libreta de campo, al momento del muestreo, son:

- a. El nombre de la persona que realizó el muestreo.
- b. Los datos de ubicación del sitio.
- c. La clave de identificación de cada una de las muestras tomadas y el punto de muestreo correspondiente.
- d. La ubicación de los puntos de muestreo.
- e. La fecha y hora de recolección de cada muestra.

**Anexo Normativo 2. Procedimiento de lixiviación de precipitación sintética**

**1. Introducción.**

La toxicidad de los metales y metaloides (MM) en los residuos mineros no depende de su concentración total, sino de la concentración de la fracción extraíble bajo condiciones ambientales. La fracción extraíble es la que puede representar un riesgo ambiental, ya que es móvil en el ambiente. También se considera a esta fracción extraíble como una medida indirecta de la fracción biodisponible, ya que reacciona fácilmente dentro de los organismos vivos.

**2. Objetivo.**

Este método se elaboró con base en el método EPA-1312, con el propósito de determinar la movilidad de analitos orgánicos e inorgánicos presentes en los residuos mineros por medio del procedimiento de lixiviación de precipitación sintética con mezcla de  $H_2SO_4/HNO_3$ .

**3. Resumen del método.**

**3.1** Para muestras líquidas (que contienen menos de 0.5% de material sólido seco), la muestra, después de la filtración a través de un filtro de fibra de vidrio de 0.6 a 0.8  $\mu m$ , se define como el extracto 1312.

**3.2** Para muestras que contienen 0.5% o más de sólidos, la fase líquida, si la hubiere, se separa de la fase sólida y se almacena para su posterior análisis; el tamaño de las partículas de la fase sólida se reduce en caso de ser necesario. La fase sólida se extrae con una cantidad de fluido (reactivo) de extracción igual a 20 veces el peso de la fase sólida. El fluido de extracción estará en función de la región del país en el que se localiza el sitio de la muestra si la muestra es un suelo. Si la muestra es un residuo o aguas residuales, el fluido de extracción empleado es una solución de un pH de 4.2. Se utiliza un recipiente extractor especial cuando se hacen pruebas de analitos volátiles. Después de la extracción, el extracto líquido se separa de la fase sólida a través de una filtración usando un filtro de fibra de vidrio de 0.6 a 0.8  $\mu m$ .

**3.3** Si son compatibles (es decir, al combinarse no forman fases múltiples), la fase líquida inicial de los residuos se añade al extracto líquido, y éstos se analizan conjuntamente. Si son incompatibles, los líquidos se analizan por separado y los resultados se combinan matemáticamente para obtener una concentración promedio en volumen.

#### 4. Interferencias.

Las posibles interferencias que pueden encontrarse durante el análisis se discuten en cada uno de los métodos analíticos.

#### 5. Aparatos y materiales.

**5.1 Aparato de Agitación:** El aparato de agitación debe ser capaz de rotar el recipiente de extracción de arriba para abajo a  $30 \pm 2$  rpm. Cualquier aparato que haga girar el recipiente de extracción de arriba abajo a  $30 \pm 2$  rpm es aceptable.

#### 5.2 Recipientes de Extracción.

**5.2.1 Recipientes de Extracción de Volumen Muerto Cero (VMC) [por su denominación en inglés, ZHE].** Este aparato únicamente se utiliza cuando la muestra está siendo analizada para la movilidad de los analitos volátiles. El VMC permite la separación de líquido/sólido en el aparato y efectivamente impide el volumen muerto. Este tipo de recipiente permite la separación inicial, líquido/sólido, la extracción, y la filtración final sin necesidad de abrir el recipiente (numeral 5.3.1). Estos recipientes deberán tener un volumen interno de 500-600 mL y deben estar equipados para instalar un filtro de 90-110 mm. Los aparatos contienen anillos O de VITON que se deben reemplazar con frecuencia.

Para que el VMC sea aceptable para su utilización, el pistón debe ser capaz de moverse con aproximadamente 15 psig o menos. Los anillos O del aparato deben ser reemplazados si se requiere más presión para mover el pistón. Si esto no soluciona el problema, el VMC no es aceptable para los análisis 1312 y se debe contactar al fabricante.

Revisar el VMC después de cada extracción e identificar fugas. Si el aparato contiene un manómetro, presurizar el aparato a 50 psig, permitir que permanezca sin vigilancia durante 1 hora, y revisar nuevamente la presión. Si el aparato no tiene dicho manómetro, presurizar el dispositivo a 50 psig, sumergir en agua, y verificar la presencia de burbujas de aire que estén escapando de cualquiera de los aditamentos. Si se pierde presión, revisar todos los aditamentos y de ser necesario, reemplazar los anillos O. Volver a probar el aparato.

Algunos VMC usan la presión del gas para accionar el pistón VMC, mientras que otros utilizan presión mecánica. Considerando que el procedimiento de volátiles (numeral 8.3) se refiere a libras por pulgada cuadrada (psig), para el pistón accionado mecánicamente, la presión se mide en torsión-pulgadas libras. Consultar las instrucciones del fabricante para la correcta conversión.

**5.2.2 Recipiente frasco de extracción.** Cuando la muestra se está evaluando usando la extracción no volátil, se necesita un frasco con capacidad suficiente para contener la muestra y fluido de extracción. En este recipiente se permite el volumen cero.

Los frascos de extracción se pueden construir de diversos materiales, en función de los analitos y la naturaleza de los residuos (numeral 5.3.3). Se recomienda utilizar frascos de vidrio borosilicado en lugar de otros tipos de vidrio, sobre todo cuando involucra sustancias inorgánicas. Si se van a investigar orgánicos no se deben utilizar frascos de plástico, si son de plástico sólo podrán ser de politetrafluoroetileno. Los frascos se encuentran con proveedores de laboratorios. Cuando se usa este tipo de frasco, el aparato de filtración descrito en el numeral 5.3.2 se utiliza para la separación inicial líquido-sólido y para la filtración del extracto final.

**5.3 Equipos de filtración:** Es recomendable que todas las filtraciones se lleven a cabo en una campana de extracción.

**5.3.1 Recipiente de Extracción Volumen Muerto Cero (VMC):** Cuando la muestra se analiza para volátiles, se debe utilizar para la filtración el recipiente extracción de Volumen Muerto Cero descrito en el numeral 5.2.1. El aparato deberá ser capaz de soportar y mantener en su lugar el filtro de fibra de vidrio y de resistir la presión requerida para lograr la separación (50 psig).<sup>2</sup>

**5.3.2 Portafiltro:** Cuando la muestra se analiza para cosas diferentes a los analitos no volátiles, se puede utilizar un porta filtro capaz de soportar un filtro de fibra de vidrio y de resistir la presión necesaria para lograr la separación. Los portafiltro adecuados van desde simples unidades de vacío a sistemas relativamente complejos capaces de ejercer presiones de hasta 50 psig o más. El tipo de portafiltro utilizado depende de las propiedades del material a ser filtrado (numeral 5.3.3). Estos aparatos deberán tener un volumen mínimo interno de 300 mL y estar equipados para dar cabida a un filtro de tamaño mínimo de 47 mm (se recomiendan portafiltros que tengan una capacidad interna de 1.5 L o mayor, y equipados para albergar un filtro de 2 mm de diámetro). La filtración al vacío sólo puede ser utilizada para los residuos de bajo contenido de sólidos

---

<sup>2</sup> Cuando se sospecha que el filtro de fibra de vidrio se ha fracturado, se puede usar un filtro de fibra de vidrio en línea para filtrar el material dentro del VMC.

(<10%) y para los muy granulares, que contienen residuos líquidos. Todos los demás tipos de residuos deben ser filtrados con filtración de presión positiva. Cualquier aparato capaz de separar la fase líquida de la sólida es aceptable siempre y cuando sea compatible químicamente con el residuo y los componentes que se van a analizar. Se pueden usar aparatos de plástico (que no aparezcan en la lista) cuando sólo se van a analizar analitos inorgánicos. Se recomienda el portafiltros de 142 mm.

**5.3.3 Materiales de construcción:** Los recipientes de extracción y los dispositivos de filtrado deberán ser de materiales inertes que no lixivien ni absorban los componentes de la muestra de interés. Se puede utilizar vidrio, politetrafluoroetileno (PTFE), o equipo de acero inoxidable de tipo 316 en la evaluación de la movilidad de los componentes orgánicos e inorgánicos. Los dispositivos de polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP), o de polivinilo de cloruro (PVC) sólo podrán utilizarse en la evaluación de la movilidad de los metales. Se recomienda utilizar frascos de vidrio de borosilicato sobre otros tipos de frascos de vidrio, especialmente cuando los analitos de interés son inorgánicos.

**5.4 Filtros:** Utilizar filtros de fibra de vidrio borosilicado, sin aglutinantes, con un tamaño efectivo de poro de 0.6 a 0.8  $\mu\text{m}$ . No utilizar pre-filtros. Cuando se evalúe la movilidad de metales, someter los filtros a un lavado ácido antes de su uso con ácido nítrico 1N seguido por tres enjuagues con agua grado reactivo (se recomienda un mínimo de 1 L por enjuague). Los filtros de fibra de vidrio son frágiles y deben manejarse con cuidado.

**5.5. Medidores de pH:** El medidor de pH debe tener una exactitud de  $\pm 0.05$  unidades a 25°C.

**5.6 Equipos de Recolección de Extracto VMC:** Utilizar bolsas acero inoxidable o jeringas herméticas de vidrio o PTFE para coleccionar la fase inicial líquida y el extracto final cuando se utilice el aparato VMC. Estos equipos se recomiendan para uso bajo las siguientes condiciones:

**5.6.1** Si un residuo contiene una fase líquida acuosa o si un residuo no contiene una cantidad significativa de líquido no acuoso (es decir, <1% del total de los residuos), utilizar una bolsa TEDLAR 600 mL o una jeringa para recoger y combinar el extracto líquido y sólido inicial.

**5.6.2** Si un residuo contiene una cantidad significativa de líquido no acuoso en la fase líquida inicial (es decir, > 1% del total de residuos), utilizar la jeringa o la bolsa TEDLAR tanto para la separación inicial líquida/sólida y para la filtración de extracto. Sin embargo, los analistas deben utilizar una u otra, no ambas.

**5.6.3** Si el residuo no contiene una fase inicial líquida (es 100% sólido) o no tiene fase significativa sólida (es <0.5% de sólidos), se pueden utilizar ya sea la bolsa TEDLAR o la jeringa. Si se utiliza la jeringa, se deben desechar los primeros 5 mL de líquido filtrado del dispositivo. El resto de las alícuotas se utilizan para el análisis.

**5.7 Equipos de Transferencia de Extracción de Líquidos VMC:** Cualquier equipo capaz de transferir el fluido de extracción al VMC sin cambiar la naturaleza del fluido de extracción es aceptable (por ejemplo, una bomba de desplazamiento positivo o peristáltica, una jeringa hermética, (numeral 5.3.2), u otros equipos VMC).

**5.8 Balanza de Laboratorio:** Cualquier balanza de laboratorio con precisión de  $\pm 0.01$  g puede ser utilizada (todas las medidas deben estar dentro de  $\pm 0.1$  g).

**5.9 Vaso de precipitado o Matraz Erlenmeyer de vidrio, 500 mL.**

**5.10 Vidrio de reloj, diámetro apropiado para cubrir el vaso de precipitado o Matraz Erlenmeyer.**

**5.11 Agitador magnético.**

## 6. Reactivos.

**6.1** Utilizar reactivos grado analítico. Se debe tener la certeza de que los reactivos cuentan con la pureza suficiente para permitir su uso sin disminuir la exactitud de la determinación.

**6.2 Agua Grado Reactivo.** El Agua Grado Reactivo se define como el agua en el que no se observa un interferente en o por encima del límite de detección del método del analito de interés. Para las extracciones no volátiles, el agua ASTM Tipo II o el equivalente logran la definición de agua grado reactivo.

**6.2.1** El Agua Grado Reactivo para extracciones volátiles se puede producir al pasar agua corriente a través de una cama que contenga alrededor de 500 g de carbón activado.

**6.2.2** También se puede utilizar un sistema de purificación de agua (Millipore Super-Q o equivalente) para generar agua grado reactivo para extracciones volátiles.

**6.2.3** El agua grado reactivo para extracciones volátiles también se puede preparar hirviendo agua durante 15 minutos. Posteriormente, al tiempo que se mantiene la temperatura del agua a  $90 \pm 5^\circ\text{C}$ , hierva un gas inerte libre de contaminantes (Por ejemplo, nitrógeno) en el agua durante 1 hora. Mientras esté aún caliente, transfiera el agua a un frasco de tapa de rosca de boca estrecha de volumen cero y selle con una membrana forrada de teflón y tape.

**6.3** Acido sulfúrico/ácido nítrico (mezcla de peso de 60/40 por ciento)  $H_2SO_4/HNO_3$ . Cuidadosamente mezcle 60 g de ácido sulfúrico concentrado con 40 g de ácido nítrico concentrado. Si se prefiere, una mezcla ácida de  $H_2/HNO_3$  puede prepararse y utilizarse en los numerales 6.4.1 y 6.4.2 lo que hace más fácil ajustar el pH del fluido de extracción.

#### **6.4** Fluidos de Extracción.

**6.4.1** Fluido de extracción #1: Este fluido se hace mediante la adición de la mezcla de ácidos sulfúrico y nítrico en porcentaje en peso 60/40 (o una dilución adecuada) al agua grado reactivo (numeral 6.2) hasta que el pH sea de  $4.20 \pm 0.05$ .

Las soluciones no son estables y es posible que no se alcance el pH exacto.

**6.4.2** Fluido de extracción #2: Este fluido se hace mediante la adición de la mezcla de ácidos sulfúrico y nítrico en porcentaje en peso 60/40 (o una dilución adecuada) al agua grado reactivo (numeral 6.2) hasta que el pH sea de  $5.00 \pm 0.05$ .

**6.4.3** Fluido de extracción # 3: Este fluido es agua grado reactivo (numeral 6.2) y se utiliza para determinar la lixiviabilidad del cianuro y de compuestos volátiles.<sup>3</sup>

**6.5** Preparar estándares de acuerdo al método analítico adecuado.

#### **7.** Recolección de muestra, preservación y manejo.

**7.1** Todas las muestras serán recolectadas conforme a lo indicado en esta norma oficial mexicana.

**7.2** Puede haber requisitos sobre el tamaño mínimo de la muestra de campo dependiendo del estado o estados físicos de los residuos y de los analitos de interés. Se necesita una alícuota para las evaluaciones preliminares de los porcientos de sólidos y del tamaño de las partículas.

Puede ser necesaria una alícuota para llevar a cabo el procedimiento de extracción de analitos no volátiles. Si lo que es de interés son los orgánicos volátiles, puede ser necesaria otra alícuota. Las medidas de control de calidad pueden requerir alícuotas adicionales. Además, siempre es más prudente recoger más muestras en caso de que algo salga mal en el primer intento de llevar a cabo la prueba.

**7.3** No adicionar sustancias para preservar la muestra antes de la extracción.

**7.4** Refrigerar las muestras a menos que la refrigeración resulte en cambios físicos irreversibles de los residuos. Si se producen precipitaciones, toda la muestra (incluyendo el precipitado) debe ser extraída.

**7.5** Cuando la muestra sea analizada para analitos volátiles, tener cuidado a fin de reducir al mínimo la pérdida de compuestos volátiles. Recoger las muestras y almacenar a manera de prevenir la pérdida de analitos volátiles (por ejemplo, recoger las muestras en frascos forrados de membranas de teflón cerrados y almacenados a 4°C. Abrir las muestras hasta antes de la extracción. Las muestras sólo deben abrirse inmediatamente antes de la extracción).

**7.6** Preparar los extractos 1312 para su análisis y analizar a la brevedad posible después de la extracción. Acidificar los extractos o parte de los extractos para la determinación de analitos metálicos con ácido nítrico a un pH <2, a menos que se produzca la precipitación (si se produce la precipitación, ver numeral 8.2.14). Conservar los extractos para otros analitos de acuerdo a los métodos de análisis individual. Evitar que los extractos o parte de los extractos para las determinaciones de analitos orgánicos entren en contacto con la atmósfera (es decir, ningún volumen cero) para evitar pérdidas. Ver el numeral 9 (Control de Calidad) para tiempos aceptables de muestreo y extracción.

### **8. Procedimiento.**

#### **8.1** Evaluaciones preliminares.

Realizar las evaluaciones preliminares 1312 en una alícuota de la muestra del residuo en un mínimo de 100 g. Esta alícuota puede en realidad no experimentar la extracción 1312. Estas evaluaciones preliminares incluyen: (1) Determinar el porcentaje de sólidos (numeral 8.1.1), (2) Determinar si los residuos contienen sólidos en cantidades insignificantes y, por lo tanto, después de la filtración es su propio extracto (numeral 8.1.2), y (3) Determinar si la porción sólida de los residuos exige reducción del tamaño de las partículas (numeral 8.1.3).

**8.1.1** Determinación preliminar del porcentaje de sólidos: El porcentaje de sólidos se define como la fracción de la muestra de residuos (como porcentaje del total de la muestra) del que no se puede extraer líquido por una presión aplicada, tal como se describe a continuación.

<sup>3</sup> Estos fluidos de extracción deben vigilarse con frecuencia por las impurezas. El pH debe verificarse antes de su uso para garantizar que estos fluidos se integren con precisión. Si se encuentran impurezas o el pH no está dentro de las especificaciones anteriores, el fluido debe ser descartado y debe prepararse fluido de extracción fresco.

**8.1.1.1** Si la muestra no produce líquido cuando está sujeta a la presión de filtración (es decir, es 100% sólido), pese una submuestra representativa (100 g mínimo) y proceda conforme al numeral 8.1.3.

**8.1.1.2** Si la muestra es líquida o de múltiples fases, se requiere la separación de sólido/líquido para hacer la determinación preliminar del porcentaje de sólidos. Esto involucra el equipo de filtración referido en el numeral 5.3.1, y se describe en los numerales 8.1.1.3 a 8.1.1.9.

**8.1.1.3** Pesar el filtro y el recipiente que recibirá el filtrado.

**8.1.1.4** Ensamblar el portafiltros y el filtro siguiendo las instrucciones del fabricante. Colocar el filtro en el soporte y asegurarlo.

**8.1.1.5** Pesar una submuestra de los residuos (100 g mínimo) y registrar su peso.

**8.1.1.6** Permitir que los lodos sedimenten en la fase sólida. Las muestras que sedimenten lentamente pueden centrifugarse antes de la filtración. La centrifugación se usará solamente como ayuda de la filtración. Si se realiza la centrifugación, el líquido debe ser decantado y filtrado y después filtrar la parte sólida de los residuos a través del mismo sistema de filtración.

**8.1.1.7** Transferir cuantitativamente la muestra al portafiltros (fases líquida y sólida). Distribuir la muestra de manera uniforme sobre la superficie del filtro. Si la filtración de los residuos a 4°C reduce la cantidad de líquido filtrado a más de lo que se debe filtrar a temperatura ambiente, entonces dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente en el equipo antes de filtrar.

Aplicar gradualmente vacío o presión suave de 1-10 psig, hasta que el aire o el gas de presurización pase a través del filtro. Si no se alcanza este punto a menos de 10 psig, y en caso de que no haya pasado más líquido por el filtro en cualquier intervalo de 2 minutos, lentamente aumentar la presión en incrementos de 10 psig hasta un máximo de 50 psig. Después de cada incremento de 10 psig, si el gas de presurización no se ha movido a través del filtro, y en caso de que no haya pasado más líquido por el filtro en cualquier intervalo de 2 minutos, proceder al próximo incremento de 10 psig. Cuando el gas de presurización comienza a pasar por el filtro, o cuando cesa el flujo de líquido a 50 psig (es decir, la filtración no da lugar a ningún filtrado adicional dentro de cualquier período de 2 minutos), detener la filtración.<sup>4,5</sup>

**8.1.1.8** El material retenido en el filtro se define como la fase sólida del residuo y el filtrado como la fase líquida.<sup>6</sup>

**8.1.1.9** Determinar el peso de la fase líquida, restando el peso del recipiente vacío (numeral 8.1.1.3), del peso total del recipiente con el filtrado. Determinar el peso de la fase sólida de la muestra restando el peso de la fase líquida del peso total de la muestra, según se determinó en el numeral 8.1.1.5 o 8.1.1.7.

Registrar el peso de las fases líquida y sólida. Calcular el porcentaje de sólidos de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de sólidos} = \frac{\text{Peso de sólido (numeral 8.1.1.9)}}{\text{Peso total del Residuo (numeral 8.1.1.5 o 8.1.1.7.)}} \times 100$$

**8.1.2** Si el porcentaje de sólidos determinado en el numeral 8.1.1.9 es igual o superior a 0.5%, entonces proceder conforme al numeral 8.1.3 para determinar si el material sólido requiere reducción de tamaño de las partículas o al numeral 8.1.2.1, si se observó que el filtrado está húmedo. Si el porcentaje de sólidos determinado en el numeral 8.1.1.9 es inferior al 0.5 %, proseguir con el numeral 8.2.9; si el análisis no volátil 1312 se va a llevar a cabo, y con el numeral 8.3 y con una nueva porción de los residuos volátiles, si el análisis volátil 1312 se tiene que realizar.

**8.1.2.1** Retirar la fase sólida y el filtro del aparato de filtración.

**8.1.2.2** Secar el filtro y la fase sólida a 100 ± 20°C hasta que dos pesajes sucesivos den el mismo valor dentro de ± 1%. Registrar el peso final.

Precaución: El horno de secado debe de desfogar a una campana u otro aparato adecuado para eliminar la posibilidad de que las emanaciones de la muestra se escapen al laboratorio. Verificar que la muestra no chispee o reaccione violentamente al calentarse.

<sup>4</sup> Si el material de la muestra (> 1% del peso original de la muestra) se ha adherido al recipiente utilizado para transferir la muestra al aparato de filtración, determinar el peso de este residuo y réstelo del peso de la muestra determinado en el numeral 8.1.1.5 a fin de determinar el peso de la muestra que será filtrada.

<sup>5</sup> La aplicación instantánea de presión alta puede inutilizar el filtro de fibra de vidrio y puede causar un taponamiento prematuro.

<sup>6</sup> Algunas muestras, tales como los residuos aceitosos y algunos residuos de pintura, evidentemente contendrán algún material que parece ser un líquido, pero incluso después de aplicar el vacío o la presión de filtración, como se indica en el numeral 8.1.1.7, este material puede no filtrarse. Si este es el caso, el material en el dispositivo de filtración se define como un sólido. No reemplace el filtro original con uno nuevo bajo ninguna circunstancia. Emplear únicamente un filtro.

**8.1.2.3** Calcular el porcentaje de sólidos secos como sigue:

$$\text{Porcentaje de Sólidos Secos} = \frac{\text{Peso de la muestra seca + filtro} - \text{peso de filtro}}{\text{Peso inicial de la muestra (numeral 8.1.1.5 o 8.1.1.7)}} \times 100$$

**8.1.2.4** Si el porcentaje de sólidos secos es menor a 0.5%, proseguir con el numeral 8.2.9, si se va a realizar el análisis no volátil 1312, y con el numeral 8.3 si se va a realizar el análisis de volátiles 1312. Si el porcentaje de sólidos secos es mayor o igual a 0.5%, y si se tiene que llevar a cabo el análisis de no volátiles 1312, regresar al inicio de esta etapa (8.1) y, con una nueva porción de la muestra determinar si la reducción de partículas es necesaria (numeral 8.1.3).

**8.1.3** Determinar si el residuo requiere reducción de tamaño de la partícula (reducir el tamaño de la partícula en este paso): Utilizar la parte sólida, calcular el sólido para el tamaño de la partícula. Reducir el tamaño de las partículas, si el sólido tiene una superficie por gramo de material igual o superior a 3.1 cm<sup>2</sup>, o sea inferior a 1 cm en su dimensión más estrecha (es decir, es capaz de pasar a través de un tamiz estándar de 9.5 mm (0.375 pulgadas)). Si la superficie es menor o el tamaño de la partícula es mayor a lo descrito, preparar la porción de sólidos de la muestra para extracción por medio de trituración, corte o molido de los residuos a una superficie o tamaño de las partículas como se ha descrito. Si los sólidos se preparan para una extracción de compuestos volátiles orgánicos, tomar precauciones especiales (Ver numeral 8.3.6).<sup>7</sup>

**8.1.4** Determinación del fluido de extracción apropiado:

**8.1.4.1** Para residuos y aguas residuales, utilizar el fluido de extracción # 1.

**8.1.4.2** Para residuos y/o suelos que contengan residuos de cianuro, utilizar el fluido de extracción # 3 (agua grado reactivo) ya que el lixiviado que contiene muestras de cianuro en condiciones ácidas puede dar lugar a la formación de cianuro de hidrógeno gaseoso.

**8.1.5** Si se determinó en el numeral 8.1.1.1 que la alícuota de la muestra utilizada para la evaluación preliminar (numerales 8.1.1 - 8.1.4) es sólida 100%, entonces utilizar para la extracción del numeral 8.2 (suponiendo de que queden cuando menos 100 g), y para la extracción del numeral 8.3 (suponiendo que queden cuando menos 25 g). Si la alícuota fue sometida al procedimiento del numeral 8.1.1.7, utilizar otra alícuota para el procedimiento de extracción de volátiles en el numeral 8.3. La alícuota de los residuos sometidos al procedimiento en el numeral 8.1.1.7 podría ser apropiada para usarse para la extracción del numeral 8.2 si se obtuvo una cantidad adecuada de sólidos (según lo determinado por el numeral 8.1.1.9).

La cantidad de sólidos necesaria dependerá de si se produce una cantidad suficiente de extracto para apoyar el análisis. Si queda una cantidad adecuada de los sólidos, proseguir con numeral 8.2.10 de extracción de no volátiles 1312.

**8.2** Procedimiento cuando no se determinan volátiles.

Se recomienda un tamaño mínimo de muestra de 100 gramos (sólidos y líquidos). En algunos casos, puede ser apropiada una muestra de mayor tamaño en función del contenido de sólidos de la muestra de residuos (porcentaje de sólidos, ver numeral 8.1.1); si la fase líquida inicial de los residuos es miscible con el extracto acuoso del sólido; y si las sustancias inorgánicas, sustancias inorgánicas semivolátiles, pesticidas y herbicidas son analitos de interés. Generar suficientes sólidos para la extracción, de manera que el volumen del extracto 1312 sea suficiente para llevar a cabo todos los análisis necesarios. Si la cantidad de extracto generado por una única extracción 1312 no es suficiente para llevar a cabo todos los análisis, se puede llevar a cabo más de una extracción y combinar los extractos de cada uno para su análisis.

**8.2.1** Si la muestra no produce líquido cuando es sometida a la presión de la filtración (es decir, es 100% sólido, ver numeral 8.1.1), pesar una submuestra de la muestra (100 g mínimo) y proseguir con el numeral 8.2.9.

**8.2.2** Si la muestra es líquida o de fases múltiples, efectuar una separación líquido/sólido. Utilizar el dispositivo de filtración referido en el numeral 5.3.1 y realizar el procedimiento descrito en los numerales 8.2.3 a 8.2.8.

**8.2.3** Pesar previamente el recipiente que recibirá el filtrado.

**8.2.4** Ensamblar el portafiltro y el filtro de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Colocar y asegurar el filtro en el soporte. Si se está evaluando la movilidad de los metales, lave el filtro con ácido (ver el numeral 5.4).<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Los criterios para las superficies son para materiales de residuos filamentosos (por ejemplo, papel, tela, y otros similares). La medición de la superficie no es necesaria, ni es recomendable. Para materiales que obviamente no cumplen los criterios, se necesitaría desarrollar y emplear métodos específicos de la muestra para medir el área superficial. Esa metodología no está disponible actualmente.

<sup>8</sup> Los filtros lavados con ácido se pueden utilizar para todas las extracciones no volátiles, incluso cuando los metales no son de interés.

**8.2.5** Pesar una submuestra de la muestra (100 g mínimo) y registrar el peso. Si el residuo contiene <0.5% de sólidos secos (numeral 8.1.2), la porción líquida del residuo después de la filtración, se define como el extracto 1312. Filtrar suficiente muestra, para que la cantidad de líquido filtrado alcance para realizar todos los análisis requeridos del extracto 1312. Para los residuos que contienen > 0.5 % de sólidos secos (numerales 8.1.1 o 8.1.2), utilizar la información de porcentaje de sólidos obtenida en el numeral 8.1.1 para determinar el tamaño óptimo de la muestra (mínimo 100 g) para la filtración. Se deben producir suficientes sólidos por la filtración para los análisis a realizar en la extracción 1312.

**8.2.6** Dejar reposar los lodos para permitir que se asiente la fase sólida. Las muestras que se asientan lentamente pueden ser centrifugadas antes de la filtración. Utilizar la centrifugación sólo como una ayuda a la filtración. Si la muestra es centrifugada, el líquido debe ser decantado y filtrado, seguido por la filtración de la parte sólida del residuo a través del mismo sistema de filtración.

**8.2.7** Transferir cuantitativamente la muestra (fases líquida y sólida) al porta filtro (ver numeral 5.3.1). Distribuir la muestra de residuo de manera uniforme sobre la superficie del filtro. Si la filtración del residuo a 4°C reduce la cantidad de líquido filtrado más de lo que se filtraría a temperatura ambiente, entonces dejar que la muestra alcance la temperatura ambiente en el dispositivo antes de filtrar.

Aplicar vacío gradualmente o presión de 1-10 psig, hasta que el aire o gas de presurización pase a través del filtro. Si no se llega a éste a menos de 10 psig, y si no pasa líquido a través del filtro en intervalos de 2 minutos, aumentar lentamente la presión en incrementos de 10 psig hasta un máximo de 50 psig. Si después de cada incremento de 10 psig, el gas de presurización no ha pasado a través del filtro, y no ha pasado líquido adicional a través del filtro en cualquier intervalo de 2 minutos, proceder con el próximo incremento de 10 psig. Cuando el gas de presurización comienza a pasar por el filtro, o cuando cesa el flujo de líquido a 50 psig (es decir, la filtración no da lugar a ningún filtrado adicional en un período de 2 minutos), detener la filtración.<sup>9, 10</sup>

**8.2.8** El material retenido en el portafiltro se define como la fase sólida de la muestra, y el filtrado se define como la fase líquida. Pesar el filtrado. La fase líquida puede ahora ser analizada (numeral 8.2.12) o almacenada a 4°C hasta el momento del análisis.<sup>11</sup>

**8.2.9** Si la muestra contiene <0.5% de sólidos secos (numeral 8.1.2), proseguir con el numeral 8.2.13. Si la muestra contiene > 0.5% de sólidos secos (numeral 8.1.1 o 8.1.2) y, en caso de que haya sido necesaria la reducción del tamaño de las partículas del sólido en el numeral 8.1.3, proseguir con el numeral 8.2.10. Si la muestra recibida pasa por un tamiz de 9.5 mm, transferir cuantitativamente el material sólido al frasco extractor junto con el filtro usado para separar el líquido inicial de la fase sólida, y proseguir con el numeral 8.2.11.

**8.2.10** Preparar la porción sólida de la muestra para la extracción moliendo, recortando o triturando los residuos a una área o tamaño de partícula tal y como se describe en el numeral 8.1.3. Cuando la superficie o el tamaño de partículas han sido alterados adecuadamente, transferir cuantitativamente el material sólido al frasco de extracción. Incluir el filtro usado para separar el líquido inicial de la fase sólida.<sup>12</sup>

**8.2.11** Determinar la cantidad de fluido de extracción para añadir al recipiente extractor de la siguiente manera:

$$\text{Peso del Fluido de Extracción} = \frac{20 \times \% \text{ de sólidos (Paso 8.1.1)} \times \text{peso de los residuos filtrados (numeral 8.2.5 o 8.2.7)}}{100}$$

Añadir poco a poco la cantidad adecuada de fluido de extracción (numeral 8.1.4) al recipiente de extracción. Cerrar el frasco del extractor perfectamente (es recomendable utilizar cinta de teflón para asegurar un sellado hermético), asegurar en el dispositivo extractor rotatorio, y rotar a  $30 \pm 2$  rpm durante  $18 \pm 2$  horas. La temperatura ambiente (es decir, la temperatura de la habitación en la que la extracción toma lugar) se mantendrá a un nivel de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  durante el período de extracción.<sup>13</sup>

<sup>9</sup> Si el material de residuo (> 1% del peso de la muestra inicial) se ha adherido al recipiente usado para transferirla al aparato de filtración, determinar el peso de este residuo y restar del peso de la muestra determinada en el numeral 8.2.5, para conocer el peso de la muestra del residuo que será filtrado.

<sup>10</sup> La aplicación instantánea de alta presión puede inutilizar el filtro de fibra de vidrio y puede causar taponamiento prematuro.

<sup>11</sup> Algunos residuos, como los aceitosos y de pintura, contienen material que tiene la apariencia de un líquido. Incluso después de aplicar el vacío o la presión de filtración, como se indica en el numeral 8.2.7, este material puede no filtrar. Si este es el caso, el material en el dispositivo de filtración se define como un sólido, y se lleva a través de la extracción como un sólido. Bajo ninguna circunstancia vaya a reemplazar el filtro original por un filtro nuevo. Utilizar sólo un filtro.

<sup>12</sup> Normalmente no se requiere el tamizado de los residuos. Los requisitos del área superficial son para materiales de residuo filamentosos (por ejemplo, papel, tela) y similares. No se recomienda la medición efectiva de la superficie. Si el tamizado es necesario, utilizar un tamiz con revestimiento de teflón para evitar la contaminación de la muestra.

<sup>13</sup> Mientras la agitación continúa, la presión se puede acumular dentro del recipiente extractor en algunos tipos de muestra (por ejemplo, muestras que contengan cal o carbonato de calcio pueden desarrollar gases como el dióxido de carbono). Para aliviar el exceso de presión, abrir periódicamente el frasco extractor (por ejemplo, después de 15 minutos, 30 minutos, y 1 hora) y desfogar en una campana de ventilación.

**8.2.12** Después de las 18 +/- 2 horas de extracción, separar el material en el recipiente de extracción, en sus componentes líquido y sólido por medio de filtración a través de un nuevo filtro de fibra de vidrio, tal como se indica en el numeral 8.2.

Para la filtración final del extracto 1312, de ser necesario, se puede cambiar el filtro de fibra de vidrio para facilitar la filtración. Los filtros serán lavados en ácido (numeral 5.4), si se está evaluando la movilidad de los metales.

**8.2.13** Preparar el extracto 1312 de la siguiente manera:

**8.2.13.1** Si el residuo no contiene fase líquida inicial, el líquido filtrado obtenido del numeral 8.2.12 se define como el extracto 1312. Proseguir con el numeral 8.2.14.

**8.2.13.2** Si los líquidos son compatibles (por ejemplo, no resultaran fases múltiples de la combinación), combinar el líquido filtrado resultante del numeral 8.2.12 con la fase líquida inicial de la muestra obtenida en el numeral 8.2.7. Este líquido combinado se define como el extracto 1312. Proseguir con el numeral 8.2.14.

**8.2.13.3** Si la fase líquida inicial de los residuos, obtenida del numeral 8.2.7, no es o no puede ser compatible con el líquido filtrado resultante del numeral 8.2.12, no combinar estos líquidos. Analizar estos líquidos, definidos de manera colectiva como el extracto 1312, y combinar los resultados matemáticamente, como se describe en el numeral 8.2.14.

**8.2.14** Después de colectar el extracto 1312, registrar el pH del extracto. Inmediatamente tomar una alícuota y guardar el extracto para su análisis. Acidificar las alícuotas para análisis de metales con ácido nítrico a un pH < 2. Si se observa precipitación en la adición de ácido nítrico a una pequeña alícuota del extracto, entonces no acidificar el resto del extracto para análisis de metales y analizar el extracto lo antes posible. Conservar las demás alícuotas en refrigeración (4°C) hasta su análisis. Preparar y analizar el extracto 1312 de acuerdo a los métodos analíticos apropiados. Digerir los extractos 1312 para metales con ácido, salvo en los casos donde la digestión cause la pérdida de analitos metálicos. Si un análisis del extracto sin digerir muestra que la concentración de cualquier analito metálico regulado excede el nivel regulatorio, entonces se trata de un residuo peligroso y la digestión del extracto no es necesaria. Sin embargo, los datos sobre los extractos no digeridos por sí solos no pueden ser utilizados para demostrar que los residuos no son peligrosos. Si cada una de las fases se analizan por separado, determinar el volumen de las fases individuales ( $a \pm 0.5\%$ ), hacer los análisis apropiados y combinar los resultados matemáticamente mediante un promedio volumen-peso:

$$\text{Concentración final del analito} = \frac{(V_1)(C_1) + (V_2)(C_2)}{V_1 + V_2}$$

Donde:

$V_1$  = El volumen de la primera fase (L).

$C_1$  = La concentración del analito de interés en la primera fase (mg/L).

$V_2$  = El volumen de la segunda fase (L).

$C_2$  = La concentración del analito de interés en la segunda fase (mg/L).

**8.2.15** Comparar las concentraciones de analito en el extracto 1312 con los niveles señalados en las disposiciones reglamentarias correspondientes. Consultar el numeral 9 para los requisitos de control de calidad.

**8.3** Procedimiento para determinar los constituyentes volátiles.

Utilizar el dispositivo VMC para obtener el extracto 1312 para el análisis de compuestos volátiles únicamente. No utilizar el extracto resultante para evaluar la movilidad de analitos no volátiles (por ejemplo, metales, pesticidas, etc.).

El dispositivo VMC cuenta con una capacidad interna de aproximadamente 500 mL. El VMC puede por lo tanto, servir para un máximo de 25 g de sólidos (definido como la fracción de una muestra en la cual ningún líquido adicional puede ser forzado a salir aplicando una presión aplicada de 50 psig), debido a la necesidad de agregar una cantidad de fluido extractante igual a 20 veces el peso de la fase sólida.

Cargar el VMC una sola vez con la muestra y no abrir hasta que el extracto final (del sólido) haya sido colectado. No deben permitirse llenados repetitivos del VMC para obtener 25 g de sólidos.

Impedir que la muestra inicial, la fase líquida inicial, o el extracto sean expuestos a la atmósfera por más tiempo del absolutamente necesario. Efectuar cualquier manipulación de estos materiales en frío (4°C) para minimizar la pérdida de compuestos volátiles.



**8.3.1** Pesar el contenedor del colector de filtrados (evacuado) (numeral 5.6). Si utiliza una bolsa Tedlar pasar todo el líquido del dispositivo VMC en la bolsa, ya sea para la separación inicial o final del líquido y sólido, y tomar una alícuota del líquido en la bolsa para análisis. Los contenedores que figuran en el numeral 5.6 se recomiendan para uso en las condiciones definidas en los numerales 5.6.1 a 5.6.3.

**8.3.2** Colocar el pistón VMC dentro del cuerpo del VMC (humedecer ligeramente los anillos 0 del pistón con el fluido de extracción). Ajustar el pistón dentro del cuerpo del aparato a una altura que minimice la distancia a la que el pistón tendrá que moverse una vez que sea cargado con la muestra (basado en los requerimientos del tamaño de la muestra determinados por los numerales 8.3, 8.1.1 y/o 8.1.2). Asegurar la brida del fondo (entrada y salida del gas) en el cuerpo del VMC de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Asegurar el filtro de fibra de vidrio entre las dos mallas del soporte y colocar aparte. Colocar aparte la brida de entrada y salida del gas (brida superior).

**8.3.3** Si la muestra es 100% sólida (numeral 8.1.1), pesar una submuestra (25 g máximo) de los residuos, registrar el peso, y proceder al numeral 8.3.5.

**8.3.4** Si la muestra contiene <0.5% de sólidos secos (numeral 8.1.2), la porción líquida, después de la filtración, se define como el extracto 1312. Filtrar suficiente muestra de modo que la cantidad de líquido filtrado sea la necesaria para realizar todos los análisis de constituyentes volátiles requeridos. Para muestras que tienen 0.5 % de sólidos secos o más (numerales 8.1.1 y/o 8.1.2), usar la información obtenida en el numeral 8.1.1 del por ciento de sólidos para determinar el tamaño de muestra óptima a cargar en el VMC. El tamaño de muestra recomendado es el siguiente:

**8.3.4.1** Para muestras que contienen <5% de los sólidos (numeral 8.1.1), pesar una submuestra de 500 g de residuos y registrar el peso.

**8.3.4.2** Para residuos que contengan >5% de sólidos (numeral 8.1.1), determinar la cantidad de residuos a cargar al VMC de la siguiente manera:

$$\text{Peso de los residuos a cargar al VMC} = \frac{25}{\text{Por ciento de sólidos (numeral 8.1.1)}} \times 100$$

**8.3.4.3** Pesar una submuestra de los residuos del tamaño apropiado y registrar el peso.

**8.3.5** Si se requirió la reducción del tamaño de la partícula de la parte sólida de la muestra en el numeral 8.1.3, proseguir con el numeral 8.3.6; en caso contrario, proseguir con el numeral 8.3.7.

**8.3.6** Preparar la muestra para la extracción triturando, cortando o moliendo la porción sólida de los residuos a una superficie o tamaño de las partículas tal y como se describe en el numeral 8.1.3. Los residuos y el equipo de reducción adecuado deben mantenerse en refrigeración. Si es posible, a 4°C previo a la reducción de las partículas. Los medios utilizados para la reducción del tamaño de las partículas no deben generar calor en sí y por sí mismos. Si la reducción de la fase sólida de los residuos es necesaria, evitar la exposición de los residuos a la atmósfera en la medida de lo posible.<sup>14</sup> Cuando el área o tamaño de las partículas ha sido apropiadamente alterada, proseguir con el numeral 8.3.7.

**8.3.7** Los residuos lodosos no deben asentarse; no se debe centrifugar la muestra antes de la filtración.

**8.3.8** Transferir cuantitativamente la muestra (fase líquida y sólida) rápidamente al VMC. Asegurar el filtro y las mallas de soporte en la brida superior del equipo y asegurarla al cuerpo del VMC de acuerdo a las indicaciones del fabricante. Apretar todos los aditamentos del VMC y colocar el equipo en posición vertical (con la brida de entrada y salida de gases en el fondo). No adherir el aparato de colección de la extracción a la placa superior.<sup>15</sup>

Conectar una línea de gas a la válvula de entrada y salida de gases (brida inferior) y con la válvula de entrada y salida de líquidos (brida superior) abierta, comenzar a aplicar presión suavemente de 1-10 psig (o más si es necesario) para lentamente eliminar el volumen muerto del aparato VMC hacia la campana. Al aparecer líquido en la válvula de entrada y salida de líquidos, cerrar rápidamente la válvula y quitar la presión. Si la filtración del residuo a 4°C reduce la cantidad de líquido filtrado comparada con la que se obtendría filtrada a temperatura ambiente, permitir que la muestra alcance la temperatura ambiente en el equipo antes de efectuar la filtración.

Si los residuos son 100% sólidos (numeral 8.1.1), incrementar lentamente la presión a un máximo de 50 psig para forzar la salida del volumen muerto del aparato y prosiga con el numeral 8.3.12.

<sup>14</sup> No se recomienda el tamizado de los residuos debido a la posibilidad de que los compuestos volátiles pueden perderse. Como alternativa se recomienda el uso de una regla graduada. Los requisitos del área superficial son para residuos filamentosos (Por ejemplo, papel, tela) y materiales similares. No se recomienda la medición del área superficial.

<sup>15</sup> Si más del 1% del peso de la muestra original se adhirió al recipiente usado para transferirla a la VMC, determinar el peso de este residuo y restar del peso de la muestra determinada según el numeral 8.3.4 para calcular el peso efectivo de la muestra que va a ser filtrada.

**8.3.9** Unir el recipiente de recolección de filtrado previamente pesado, a la válvula de entrada y salida de líquidos y abrir la válvula. Comenzar aplicando presión suave de 1-10 psig para pasar la fase líquida al recipiente recolector. Si no ha pasado líquido adicional por el filtro en intervalos de 2 minutos, lentamente incrementa la presión en incrementos de 10-psig hasta un máximo de 50 psig. Después de cada incremento de 10 psig, si no ha pasado líquido adicional por el filtro en algún intervalo de 2 minutos, proceder al siguiente incremento de 10 psig. Cuando ha parado el flujo de líquido al grado de que la presión continua de 50 psig no resultan en filtrados adicionales dentro de los periodos de 2 minutos, detenga la filtración. Cerrar la válvula de entrada y salida de líquidos, elimine la presión al pistón, desconecte y pese el recipiente de recolección de filtrado.<sup>16</sup>

**8.3.10** El material en el VMC se define como la fase sólida del residuo y el filtrado como la fase líquida.<sup>17</sup>

Si el residuo original contenía menos de 0.5% de sólidos secos (numeral 8.1.2), este filtrado se define como extracto 1312 y es analizado directamente. Proseguir al numeral 8.3.15.

**8.3.11** Analizar la fase líquida inmediatamente (numerales 8.3.13 a 8.3.15) o almacenar a 4°C bajo condiciones mínimas de volumen muerto hasta el momento del análisis. Determinar el peso del fluido de extracción número 3 a adicionar al VMC como sigue:

$$\text{Peso del fluido de extracción} = \frac{20 \times \% \text{ sólidos (paso 8.1.1 x peso de residuos filtrados (Paso 8.3.4 o 8.3.8))}}{100}$$

**8.3.12** Los siguientes numerales describen cómo añadir la adecuada cantidad de fluido de extracción al material sólido dentro del VMC y la agitación del vaso VMC. El fluido de extracción número 3 se utiliza en todos los casos (numeral 6.4.3).

**8.3.12.1** Con el VMC en posición vertical, conectar una línea del depósito del fluido de extracción a la válvula de entrada y salida de líquidos. Llenar la línea con el fluido de extracción fresco y enjuagado previamente con fluido para eliminar las burbujas de aire en la línea. Liberar la presión de gas en el pistón VMC (por medio de la válvula de entrada y salida de gas), abrir la válvula de entrada y salida de líquidos y comenzar a transferir el fluido de extracción (por bombeo o métodos similares) al VMC. Continuar presionando el fluido de extracción, hasta que la cantidad apropiada haya sido introducida al equipo.

**8.3.12.2** Después de añadir el fluido de extracción, cerrar inmediatamente la válvula de entrada y salida de líquidos y desconectar la línea del fluido de extracción. Revisar el VMC para asegurarse que todas las válvulas están cerradas. Girar el equipo manualmente de arriba a abajo 2 o 3 veces. Regresar el VMC a la posición vertical con la válvula de entrada y salida de líquidos en la parte de arriba. Presurizar el VMC a 5-10 psig (si es necesario) y abrir lentamente la válvula de entrada y salida de líquidos para desplazar cualquier volumen muerto que pueda haber sido introducido al agregar el fluido de extracción. Este sangrado debe hacerse repetidamente y detenerse en cuanto aparezca líquido en la válvula. Represurizar el VMC con 5-10 psig y verificar todos los aditamentos del VMC para asegurarse que estén cerrados.

**8.3.12.3** Colocar el VMC en el aparato de agitación rotatorio (si no está ya ahí) y rotar a  $30 \pm 2$  rpm durante  $18 \pm 2$  horas. La temperatura ambiente (es decir, la temperatura del cuarto en que ocurre la extracción) debe mantenerse a  $22 \pm 3^\circ\text{C}$  durante la agitación.

**8.3.13** Después de las  $18 \pm 2$  horas de rotación, comprobar la presión en el pistón del VMC abriendo y cerrando rápidamente la válvula de entrada y salida de gases y observando el escape de gas. Si la presión no se ha mantenido (es decir, no se observa escape de gas) el equipo tiene fugas. Revisar el VMC por fugas como se especifica en el numeral 5.2.1 y repetir la extracción con una nueva muestra de residuos. Si la presión dentro del equipo se mantuvo, el material en el recipiente de extracción separar de nuevo en sus componentes líquido y sólido. Si el residuo contenía una fase líquida inicial, el líquido puede filtrarse directamente en el mismo recipiente de recolección de filtrados (por ejemplo, la bolsa TEDLAR) que contiene la fase líquida inicial del residuo. Se debe usar un recipiente de recolección de filtrado separado, si combinándolos se formarían fases múltiples o si no tiene suficiente volumen dentro del recipiente de colección del filtrado. Filtrar a través de filtro de fibra de vidrio usando el aparato VMC como se describe en el numeral 8.3. Todos los extractos deberán filtrarse y colectarse si se utilizan bolsas TEDLAR, si el extracto es de fases múltiples, o si el residuo contenía una fase líquida inicial (ver numerales 5.6 y 8.3.1).<sup>18</sup>

<sup>16</sup> La aplicación instantánea de presión puede fracturar el filtro de fibra de vidrio y causar un taponamiento prematuro.

<sup>17</sup> Algunos residuos, como los residuos grasos y algunos residuos de pintura, contienen algún material que aparenta ser líquido. Incluso después de aplicar la presión de filtración, este material no filtrará. Si este es el caso, el material en el dispositivo de filtración se define como un sólido, y se lleva a través de la extracción 1312 como un sólido.

<sup>18</sup> Usar un filtro de fibra de vidrio en línea para filtrar el material dentro del VMC si se sospecha que el filtro está fracturado.

**8.3.14** Si la muestra original no contiene ninguna fase líquida inicial, el material líquido filtrado obtenido conforme al numeral 8.3.13, se define como extracto 1312. Si la muestra contenía una fase líquida inicial, el material líquido filtrado obtenido del numeral 8.3.13 y la fase líquida inicial (numeral 8.3.9) se definen en conjunto como extracto 1312.

**8.3.15** Después de la recolección del extracto 1312, preparar inmediatamente para análisis a preservar con volumen muerto mínimo a 4°C hasta que se vaya a analizar. Efectuar el análisis de acuerdo a los métodos analíticos apropiados. Si las fases individuales se van a analizar separadamente (es decir, no son miscibles), determinar el volumen de las fases individuales (a 0.5%), realizar los análisis apropiados y combinar los resultados matemáticamente, usando un simple promedio volumen-peso:

$$\text{Concentración final del analito} = \frac{(V_1)(C_1) + (V_2)(C_2)}{V_1 + V_2}$$

En donde:

$V_1$  = El volumen de las primeras fases (L)

$C_1$  = La concentración del analito de interés en la primera fase (mg/L).

$V_2$  = El volumen de la segunda fase (L)

$C_2$  = La concentración del analito de interés en la segunda fase (mg/L).

**8.3.16** Comparar la concentración del extracto 1312 con los niveles identificados como permisibles señalados en la norma. Consultar el numeral 9 para los requisitos de control de calidad.

#### 9. Control de calidad.

**9.1** Realizar por lo menos un ensayo en blanco (usando el mismo fluido de extracción que se usa para la muestra) por cada 20 extracciones que se lleven a cabo en un mismo recipiente de extracción.

**9.2** Preparar una matriz adicionada para cada tipo de residuo (por ejemplo; lodos del tratamiento de aguas residuales, suelos contaminados, etc., excepto cuando el resultado exceda el nivel permitido y los datos se emplean únicamente para demostrar que las propiedades del residuo exceden el nivel permitido. Analizar una matriz adicionada por cada lote analítico. Seguir las indicaciones proporcionadas por cada método analítico sobre las adiciones a la matriz.

**9.2.1** Adicionar la matriz después de la filtración del extracto 1312 y antes de su conservación. No adicionar antes de la extracción 1312 de la muestra.

**9.2.2** Adicionar la matriz en una concentración equivalente a la del nivel permisible. Si la concentración del analito es menor que la mitad del nivel permitido, la concentración adicionada puede ser tan baja como la mitad de la concentración del analito, pero no debe ser menor que 5 veces el límite de detección del método. A fin de evitar diferencias debidas al efecto de la matriz, adicionar la matriz a un volumen nominal igual al del extracto 1312 que se analizó para la matriz sin adición.

**9.2.3** El propósito de la matriz adicionada es dar seguimiento a la aplicación de los métodos usados y determinar cuando existe una interferencia debido a la matriz. El uso de otros métodos de calibración internos, modificaciones a los métodos analíticos o el uso de métodos analíticos alternativos pueden ser necesarios para medir con precisión la concentración de analitos en el extracto 1312 cuando la recuperación del testigo es menor al desempeño esperado del método analítico.

**9.2.4** La recuperación a partir de una muestra adicionada se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% R (\% \text{ de recuperación}) = 100 (X_s - X_u) / K$$

Donde:

$X_s$  = valor determinado para la matriz adicionada

$X_u$  = valor determinado para la matriz sin adición, y

$K$  = valor conocido de adición en la matriz

**9.3** Se deben seguir todas las medidas de control descritas en el método analítico.

**9.4** El uso de métodos de calibración interna se emplearán para un contaminante metálico si: (1) la recuperación del contaminante del extracto 1312 no es al menos de un 50% y la concentración no exceda el nivel permisible, y (2) la concentración del contaminante medido en el extracto está dentro del 20 % del nivel permisible.

**9.4.1.** Se deberá usar el método de adiciones estándar como método de calibración interna para cada uno de los metales contaminantes.

**9.4.2** El método de adición estándar requiere preparar estándares de calibración con la matriz normal de calibración y un blanco de reactivos. Tomar cuatro alícuotas idénticas de solución y adicionar cantidades conocidas de estándar a tres de estas alícuotas. La cuarta alícuota es la desconocida. Preferiblemente, se debe preparar la primera adición a manera que la concentración resultante sea de aproximadamente el 50% de la concentración esperada de la muestra. Preparar la segunda y tercera adición a manera de que las concentraciones sean de aproximadamente el 100% y 150% de la concentración esperada de la muestra. Aforar las cuatro alícuotas al volumen con agua grado reactivo o una solución blanca, y diluir en caso de ser necesario para mantener las señales en el rango lineal de la técnica instrumental. Analizar las cuatro alícuotas.

**9.4.3** Preparar una gráfica con los datos, o calcular la regresión lineal, de las señales del instrumento o de las concentraciones derivadas de calibraciones externas como la variable dependiente (eje- y) frente a las concentraciones de las adiciones estándar como la variable independiente (eje -x). Resolver para la intercepción de la abscisa (la variable independiente, eje -x) que es la concentración desconocida.

**9.4.4** Restar la señal instrumental o concentración derivada de la calibración externa de la muestra desconocida (sin adición de las señales instrumentales o concentraciones derivadas de calibraciones externas de las normas adicionadas). Graficar o calcular la regresión lineal de las señales instrumentales corregidas o las concentraciones derivadas de calibraciones externas corregidas como la variable dependiente frente a la variable independiente. Obtener la concentración desconocida con la curva de calibración interna como si fuera una curva de calibración externa.

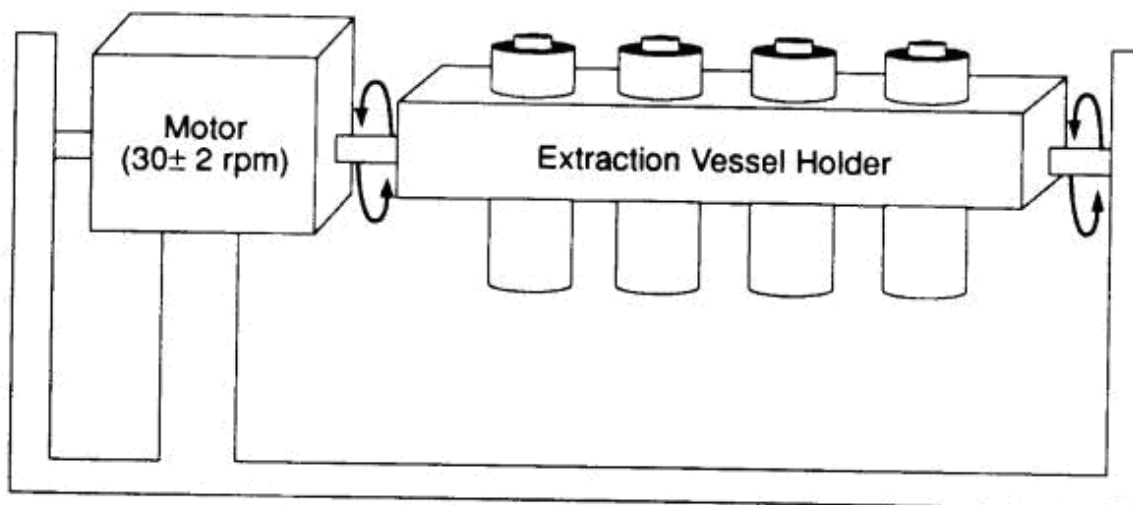
**9.5** Tratar las muestras para la extracción 1312 dentro de los siguientes plazos:

#### TIEMPOS MAXIMOS PARA RETENCION DE MUESTRAS (días)

	De: La recolección en campo A: Extracción 1312	De: La extracción 1312 A: La preparación para la extracción	De: La preparación para la extracción A: La determinación analítica	Total de Tiempo Transcurrido
Volátiles	14	NA	14	28
Semivolátiles	14	7	40	61
Mercurio	28	NA	28	56
Metales excepto mercurio	180	NA	180	360

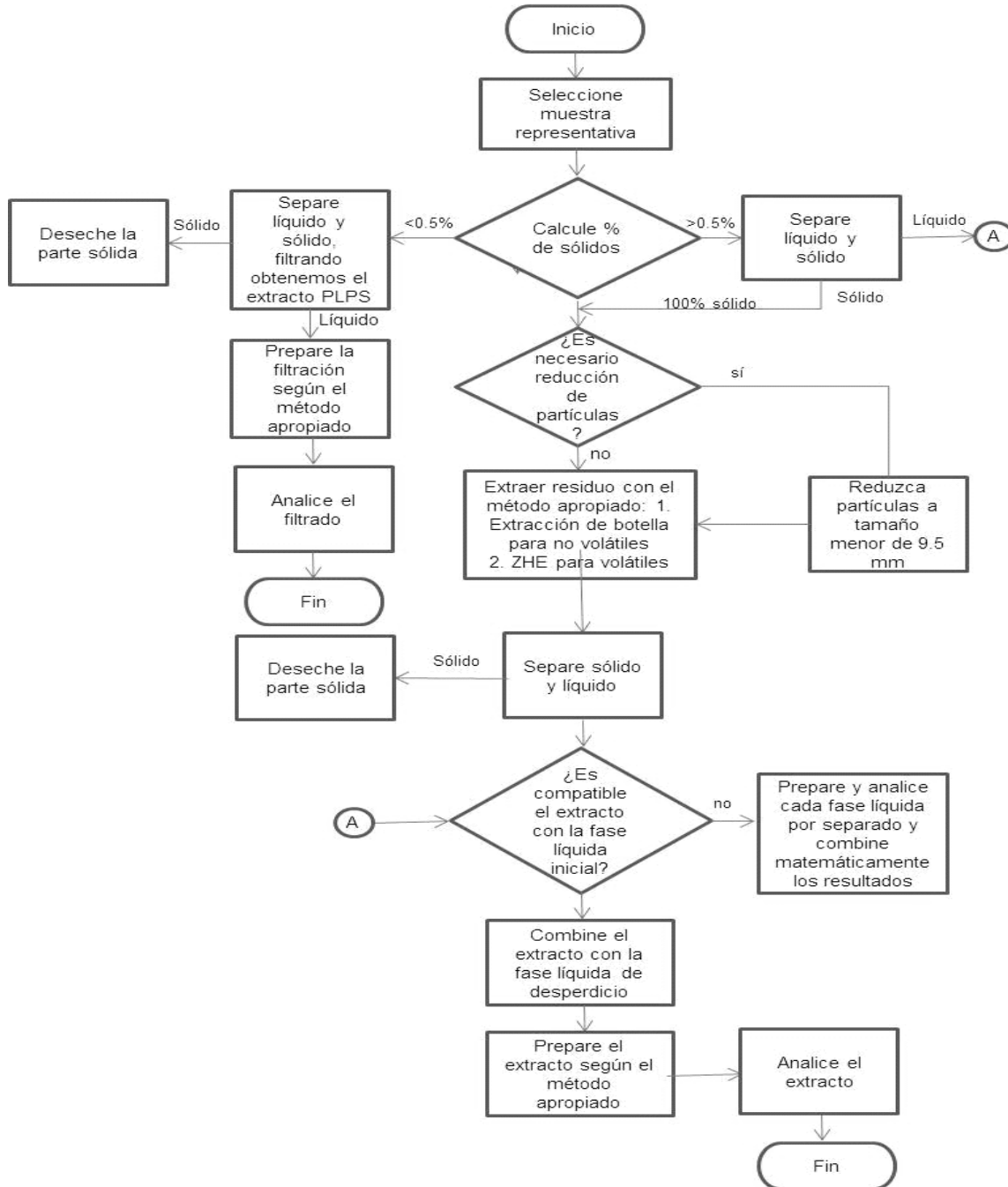
NA = No aplica

Si se exceden los tiempos de retención, los valores obtenidos se considerarán como concentraciones mínimas. No es aceptable exceder el tiempo de retención para establecer que un residuo no excede el nivel permisible. El tiempo de retención excedido no invalidará la caracterización si el residuo excede el nivel permisible.

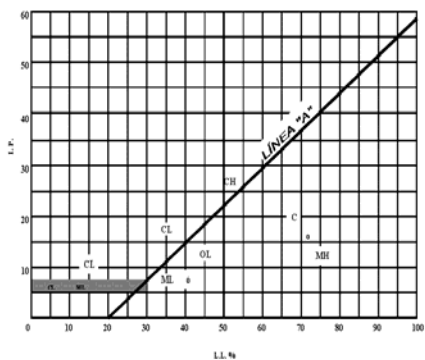


APARATO ROTATORIO DE AGITACION

**Método 1312**  
**PROCEDIMIENTO DE LIXIVIACIÓN DE PRECIPITACIÓN SINTÉTICA**



**Anexo Normativo 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)  
(Incluyendo identificación y descripción)**

DIVISION MAYOR		SIMBOLO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ®	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc= (D30) <sup>2</sup> /(D10)(D60)		
			GP		Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM u	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.	
				GC		Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla
		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	
				SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable	SM u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
			SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ®	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	Cu = D60 /D10 mayor de 6; Cc=(D30) <sup>2</sup> /(D10)(D60) entre 1 y 3	
				SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
			ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SM u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
					SC	
ARENA CON FINOS Cantidad apreciable			SM u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	
				SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
ARENA CON FINOS Cantidad apreciable		SM u	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		
			SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	
LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	g-Grava, S-Arena, O-Suelo Orgánico, P-Turba, M-Limo, C-Arcilla, W-Bien Graduada, P-Mal Graduada, L-Baja Compresibilidad, H-Alta Compresibilidad		
			CL		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos			
	CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.			
	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos o de media plasticidad.				
LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 			
		CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.		
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

**Anexo Normativo 4. Clasificación mexicana de patios y terreros: intensidad relativa de riesgo, métodos para análisis de estabilidad y tipo de monitoreo recomendado**

Grupo	Sub-grupo	Categoría	TOPOGRAFÍA			HIDROLOGÍA			SISMICIDAD			PROBABLE INTENSIDAD RELATIVA DE RIESGO*						MÉTODOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**					TIPO DE MONITOREO RECOMENDADO**			
			TERRENO			ZONA			REGIÓN			GEOTÉCNICO			HIDRÁULICO			E <sub>r</sub>	E <sub>f</sub>	P <sub>e</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>n</sub>	P	I	R	S
			M	L	P	C	H	S	S	P	A	CC	ET	AD	RM	EP	DT									
I	1	1	x			x			x			3	7	7	7	3	3	D	A	D	A	B	A	B	A	A
		2	x			x				x		3	6	6	6	3	3	C	A	C	A	B	A	C	A	B
		3	x			x					x	3	5	5	5	3	3	B	A	-	-	-	B	-	A	-
	2	4	x				x		x			2	6	6	6	2	2	D	A	D	A	B	A	B	A	A
		5	x				x			x		2	5	5	5	2	2	C	A	C	A	B	A	C	A	B
		6	x				x				x	2	4	4	4	2	2	B	A	-	-	-	B	-	A	-
	3	7	x					x	x			1	5	5	5	1	1	C	A	C	A	B	A	B	A	A
		8	x							x		1	4	4	4	1	1	B	A	B	A	B	A	C	A	B
		9	x								x	1	3	3	3	1	1	B	A	-	-	-	B	-	A	-
II	4	10		x		x			x			4	6	6	6	3	3	B	A	B	A	B	A	B	A	A
		11		x		x				x		4	5	5	5	3	3	B	A	B	A	B	A	C	A	B
		12		x		x					x	4	4	4	4	3	3	B	A	-	-	-	B	-	A	-
	5	13		x			x					3	5	5	5	2	2	B	A	B	A	B	A	B	A	A
		14		x			x			x		3	4	4	4	2	2	B	A	B	A	B	A	C	A	B
		15		x			x				x	3	3	3	3	2	2	A	B	-	-	-	B	-	A	-
	6	16		x				x	x			2	4	4	4	1	1	B	A	B	A	B	A	B	A	A
		17		x						x		2	3	3	3	1	1	B	A	A	A	B	A	C	A	B
		18		x							x	2	2	2	2	1	1	A	B	-	-	-	B	-	A	-
III	7	19			x	x			x			5	5	5	5	3	3	B	A	B	A	B	A	B	A	A
		20			x	x				x		5	4	4	4	3	3	B	A	B	A	B	A	C	A	B
		21			x	x					x	5	3	3	3	3	3	B	A	-	-	-	B	-	A	-
	8	22			x			x				4	4	4	4	2	2	B	A	B	A	B	A	B	A	A
		23			x				x			4	3	3	3	2	2	B	A	B	A	B	A	C	A	B
		24			x					x		4	2	2	2	2	2	A	B	-	-	-	B	-	A	-
	9	25			x				x	x		3	3	3	3	1	1	B	A	B	A	B	A	B	A	A
		26			x					x		3	2	2	2	1	1	A	B	A	B	B	A	C	A	B
		27			x						x	3	1	1	1	1	1	A	B	-	-	-	B	-	A	-
																	Estático		Dinámico							
																	Derram e por Tormenta (Derram en Píjaras)		Red neuronal			Referencias superficiales				
																	Erosión Pluvial (superficial)		Inclinómetros			Inclinómetros				
																	Rotura de Membranas (membranas)		Pseudostático			Perímetros				
																	Asentamientos Diferenciales		Tipo en to tipo			Simulaciones				
																	Capacidad de Cargas		Tipo en to tipo			Superficiales				
																	Asísmica		Tipo en to tipo			Inclinómetros				
																	Sismica		Tipo en to tipo			Perímetros				
																	Seca		Tipo en to tipo			Inclinómetros				
																	Húmeda (Lluvias)		Tipo en to tipo			Perímetros				
																	Ciclónica		Tipo en to tipo			Perímetros				
																	Plano		Tipo en to tipo			Perímetros				
																	Lomerío		Tipo en to tipo			Perímetros				
																	Montañoso		Tipo en to tipo			Perímetros				

\* El # 1 corresponde a la menor intensidad y el # 7 a la mayor intensidad.

\*\* La letra A corresponde al método más recomendable. Le siguen B, C y D.

### Guía para el manejo del Anexo Normativo 4

#### Clasificación mexicana de patios y terreros: intensidad relativa de riesgo, métodos para análisis de estabilidad y tipo de monitoreo recomendado.

En esta tabla se especifican:		
1. Condiciones físicas de ubicación.		
Topografía. Conjunto de particularidades que tiene un terreno en su relieve.		
Topografía	Terreno montañoso (M)	Cuadro 4
Topografía	Terreno de lomerío (L)	Cuadro 4
Topografía	Terreno plano (P)	Cuadro 4
Hidrología. Ciencia que estudia las aguas y en este caso, se refiere a las condiciones atmosféricas		
Hidrología	Zona ciclónica (C)	
Hidrología	Zona húmeda (Lluviosa) (H)	
Hidrología	Zona seca (S)	
Sismicidad. Tipo de región con sus características de propensión a los terremotos.		
Sismicidad	Región sísmica (S)	Figura 2.
Sismicidad	Región Penesísmica (P)	Figura 2
Sismicidad	Región Asísmica (A)	Figura 2
2. Probable intensidad relativa de riesgo		
Aspectos geotécnicos	Capacidad de carga (CC)	
Aspectos geotécnicos	Estabilidad de taludes (ET)	
Aspectos geotécnicos	Asentamientos diferenciales (AD)	
Aspectos hidráulicos	Rotura de membranas (impermeables) (RM)	
Aspectos hidráulicos	Erosión pluvial (superficial) (EP)	
Aspectos hidráulicos	Derrame por tormenta (terraplén y piletas) (DT)	
3. Métodos de análisis de estabilidad.		
Estático	Convencional	
Estático	Elemento finito	
	Pseudoestático	
Dinámico	Elemento finito	
Dinámico	Red neuronal	
4. Tipo de monitoreo recomendado		
	Piezómetros (P)	Instrumento que sirve para medir el grado de compresibilidad de los líquidos.
	Inclinómetros (I)	Instrumento que sirve para medir el grado de inclinación.
	Referencias superficiales (R)	
	Sismógrafos (S)	Instrumento que señala durante un sismo la dirección y amplitud de las oscilaciones y sacudimientos de la tierra.

Ejemplos. Se pretende construir un sistema de lixiviación, en:

1) Terreno montañoso, zona ciclónica y región sísmica (Categoría 1), con riesgos geotécnico por capacidad de carga de 3 y estabilidad de taludes y asentamientos diferenciales de 7.

Los análisis de estabilidad permitidos son estático o dinámico con elemento finito. El tipo de monitoreo recomendado es mediante la instalación de piezómetros, referencias superficiales y sismógrafos.

2) Terreno lomerío, zona húmeda, región penesísmica (categoría 14).

Los análisis de estabilidad permitidos son estático o dinámico con elemento finito.

El tipo de monitoreo recomendado es con piezómetros y referencias superficiales.

3) Terreno plano, zona seca y región asísmica (Categoría 27).

El análisis de estabilidad permitido es estático convencional. El tipo de monitoreo recomendado es a través de referencias superficiales.