# SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

**PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-155-SEMARNAT-2007, Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata.**

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; 1, 4 y 8 fracción V, del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 5 fracciones II, V, VI, XIV; 6; 15 fracciones I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII; 36; 37; 37 BIS; 93; 99 fracción XI; 108; 109; 150; 151; y 152 BIS de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 2 fracciones III, IX; 7 fracción III; y 17 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; y 34 de su Reglamento; 38 fracción II; 40 fracciones I y X; 43; y 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; y 33 de su Reglamento.

**CONSIDERANDO**

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

Que el establecimiento de 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, así como por las acciones que alteran la cubierta y suelos forestales, está considerado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, como asunto de alcance general de la Nación y de interés de la Federación.

Que para prevenir y controlar los efectos generados en la exploración y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico e integridad de los ecosistemas, la Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas que permitan la adecuada ubicación y formas de los depósitos de residuos de sistemas de lixiviación y establecimiento de beneficio de los minerales.

Que debido a los impactos significativos que los residuos provenientes de plantas de beneficio de minerales producen sobre el medio ambiente, se hace necesario su control.

Que los patios de lixiviación son uno de los sistemas para la disposición de los residuos sólidos generados por el beneficio de minerales contemplados en el artículo 17 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y 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 el método de prueba que establece el procedimiento para determinar la peligrosidad de los minerales lixiviados o gastados, propuesto en este proyecto de Norma Oficial Mexicana fue desarrollado y estandarizado para determinar las características que los hacen peligrosos por su toxicidad a matrices sólidas, como son los residuos mineros y que está aceptado 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-155-SEMARNAT-2007, Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata con el fin de que dentro de los 60 días naturales siguientes a su publicación los interesados presenten sus comentarios ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para el 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 se envíen al correo electrónico olga.briseno@semarnat.gob.mx. Durante el citado plazo, la Manifestación de Impacto Regulatorio correspondiente estará a disposición del público en general para su consulta en el domicilio señalado, de conformidad con el artículo 47 del citado ordenamiento.

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

**PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-155-SEMARNAT-2007, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS DE PROTECCION AMBIENTAL PARA LOS SISTEMAS DE LIXIVIACION DE MINERALES DE ORO Y PLATA**

**INDICE**

**0.** Introducción

**1.** Objetivo

**2.** Campo de aplicación

**3.** Referencias

**4.** Definiciones

**5.** Especificaciones de Protección Ambiental

**5.1** Especificaciones generales

**5.2** Peligrosidad del mineral lixiviado o gastado

**5.3** Caracterización del sitio

**5.4** Determinación de la magnitud de riesgos físicos y criterios de proyecto del patio

**5.5** Criterios de preparación del sitio

**5.6** Criterios de obra

**5.7** Criterios de construcción-operación

**5.8** Eliminación de toxicidad

**5.9** Criterios para el cierre del patio

**5.10** Monitoreo

**6.** 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. Prueba de extracción de constituyentes tóxicos

Anexo Normativo 2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Anexo Normativo 3. Clasificación mexicana de patios: 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 hidrológico-administrativas de la República Mexicana

Figura 3. Regiones sísmicas en la República Mexicana

Cuadro 1. Límites para determinar peligrosidad por reactividad del mineral

Cuadro 2. Clasificación topográfica en la República Mexicana

**PREFACIO**

Este Proyecto de Norma Oficial Mexicana fue elaborado 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:

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

Cámara Minera de México, A.C.

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

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

- Centro de Estudios, Asesoría y Servicios en Sistemas Ambientales

Universidad Nacional Autónoma de México

- Instituto de Geografía
- Instituto de Geología

Universidad de Sonora

**0. Introducción**

La lixiviación de minerales es uno de los métodos más utilizados en la actualidad a nivel mundial para la extracción de metales preciosos debido a su relativa simplicidad operativa, tecnológica y a su bajo costo de inversión en relación con otros métodos.

Los principales problemas ambientales de 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 por la pérdida de estabilidad del sistema.

A nivel internacional son reconocidos los efectos ambientales que se pueden generar debido al inadecuado manejo de este tipo de sistemas de beneficio de minerales. Los impactos ambientales pueden ser significativamente minimizados a través del desarrollo de instrumentos que permitan el adecuado diseño, construcción, operación y eliminación de toxicidad de las instalaciones; así como de prácticas para el cierre definitivo y la restauración de este tipo de operaciones.

**1. Objetivo**

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones para la caracterización del mineral lixiviado o gastado y del sitio, así como los requisitos de protección ambiental para las etapas de preparación del sitio, construcción, operación, cierre y monitoreo de los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata.

**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 oro y plata. Aplica también a los sistemas de lixiviación que entren en la fase de cierre, cuyo plan no haya sido considerado en la autorización de impacto ambiental.

**3. Referencias**

Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, 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-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.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, 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 6 de marzo de 2002.

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-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas 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-011-CNA-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.

Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de octubre de 2000.

**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. Acido cianhídrico (HCN).-** Compuesto químico de cianuro libre, también llamado cianuro de hidrógeno, cuyo equilibrio químico respecto al ion cianuro (CN-) depende del pH del sistema.

**4.2. Agente de lixiviación.-** Compuesto químico que se utiliza en los patios para la disolución y recuperación de valores del mineral.

**4.3. Cianuros.-** Todos los grupos CN- en compuestos cianurados que pueden ser determinados como ion cianuro.

**4.4. Cierre.-** Se refiere a las actividades de eliminación de toxicidad, estabilización final, restauración y monitoreo que se inician al término de la operación del sistema de lixiviación.

**4.5. Compacidad (C).-** Es la concentración de sólidos representada por la relación entre el volumen de sólidos y el volumen total de la masa de suelo de la pila. Se obtiene dividiendo el peso volumétrico seco del material ($\gamma_d$) entre el peso volumétrico de los sólidos ($\gamma_s$). Ejemplo: Si $\gamma_d$ = 1.5 t/m$^3$ y $\gamma_s$ = 2.5 t/m$^3$, C = 0.60; es decir, se tiene 60% de concentración de sólidos.

**4.6. Complejos débiles de cianuro-metal (WAD-CN).-** Compuestos químicos constituidos por la formación de complejos solubles o insolubles de un metal con una o más moléculas del ion cianuro. En estos compuestos, el ion cianuro puede ser liberado del complejo por contacto con una solución ligeramente ácida a pH 4.5. La estabilidad química del compuesto depende del ion metálico involucrado, siendo los complejos de zinc y cadmio los más débiles (Constante de disociación en agua del orden de 1x10$^{-17}$).

**4.7. Doré.-** Aleación metálica constituida por el oro y la plata recuperados durante un proceso minero-metalúrgico.

**4.8. Drenaje ácido.-** Lixiviado, efluente o drenaje contaminante que ha sido afectado 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.

**4.9. Proceso de lixiviación.-** Beneficio de minerales, conforme a la definición del artículo 3o. fracción III de la Ley Minera, que implica la disolución selectiva de los minerales con valor económico.

**4.10. Mineral lixiviado o gastado.-** Residuo del mineral que ha sido tratado bajo un proceso de lixiviación, incluye la etapa de eliminación de toxicidad.

**4.11. Patio.-** Conjunto de obras y servicios que integran el proceso de lixiviación en pilas de mineral de oro y plata de baja ley. Un patio de lixiviación está constituido comúnmente por: [i] una o varias pilas construidas sobre una plataforma donde la base ha sido impermeabilizada para impedir la infiltración de la solución lixiviante; [ii] una pileta para la recolección de la solución preñada; [iii] una pileta de emergencia o de sobreflujo; y [iv] una pileta para la recolección de la solución o mineral gastado (ver Figura 1).

**4.12. Pila.-** Material mineral, generalmente triturado, que se deposita sobre una plataforma y cuyos valores metálicos se recuperan por el proceso de lixiviación. También se le denomina montones o terreros.

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

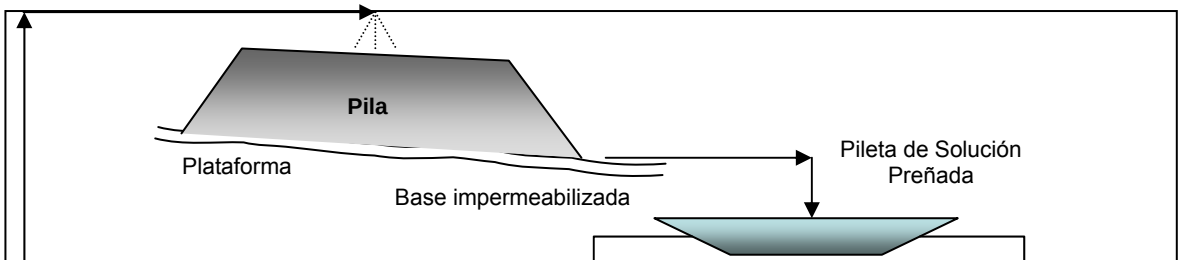
**4.14. Plataforma.-** Area preparada donde se acomoda un mineral generalmente triturado y cuyos valores metálicos se recuperan por el proceso de lixiviación.

**4.15. Recubrimiento.-** Material que se coloca en la base donde se acomoda o amontona el mineral que se trata por el proceso de lixiviación y que recubre e impermeabiliza el suelo impidiendo la infiltración de soluciones contaminantes.

**4.16. Sistema de lixiviación.-** Conjunto de obras y servicios que integran el proceso de lixiviación en pilas de mineral de oro y plata de baja ley. Un sistema está constituido comúnmente por: [i] una pila o varias pilas construidas sobre una plataforma donde la base ha sido impermeabilizada para impedir la infiltración de la solución lixiviante; [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 oro y la plata de la solución preñada (ver Figura 1).

**4.17. Solución gastada.-** Aquella 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.

**4.18. Solución preñada.-** Aquella en estado acuoso, cargada con los elementos de valor económico, una vez recuperada del proceso de lixiviación.



**5. Especificaciones de Protección Ambiental**

**5.1.** Especificaciones generales

En la preparación del sitio, construcción, operación, cierre y monitoreo de los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata se deben aplicar las especificaciones para la caracterización del sitio y los criterios de protección ambiental establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana.

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

El responsable del proyecto deberá llevar a cabo un Programa de Supervisión en el cual se designe un responsable técnico en el sitio del proyecto, para detectar aspectos críticos desde el punto de vista ambiental y que pueda tomar decisiones, definir estrategias o modificar actividades nocivas.

**5.2.** Peligrosidad del mineral lixiviado o gastado

**5.2.1.** Las pruebas para la caracterización del mineral deben efectuarse a partir de muestras de mineral lixiviado o gastado.

**5.2.2.** Para la caracterización del mineral lixiviado o gastado, las muestras deben ser obtenidas:

- Antes del inicio de operaciones, de las pruebas metalúrgicas realizadas, y
- Durante la operación minera, de pruebas metalúrgicas realizadas en laboratorio o directamente de las pilas.

**5.2.3.** El método empleado en el laboratorio para el beneficio del mineral, debe simular el proceso de lixiviación seguido durante la operación.

**5.2.4.** Muestreo para determinar la peligrosidad del mineral gastado.

**5.2.4.1.** En la etapa de operación se deberán tomar dos muestras cada mes durante la vida útil del proyecto, a partir de las cuales se hará un compósito anual que represente las características del mineral gastado. Estas muestras deben ser obtenidas de la mena o de las pilas de mineral gastado.

**5.2.4.2** A las muestras señaladas se les aplicarán las pruebas referidas en los incisos 5.2.5. y 5.2.6, por triplicado.

**5.2.5.** Prueba de movilidad.

Se deberá de aplicar la prueba de extracción de constituyentes tóxicos, de acuerdo con el procedimiento de movilidad con agua meteórica (véase Anexo Normativo 1).

Si la concentración en el extracto de uno o varios de los elementos listados en la Tabla referente a los constituyentes tóxicos en el extracto PECT de la NOM-052-SEMARNAT-2005, es superior a los límites permisibles señalados en la misma, el mineral lixiviado o gastado representado por la muestra es peligroso por su toxicidad.

**5.2.6.** Prueba de generación de ácido.

Para determinar si el mineral lixiviado o gastado 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 1.

**Cuadro 1. Límites para determinar peligrosidad por reactividad del mineral**

| **Potencial de Neutralización (PN)/Potencial Acido (PA)** | | |
|---|---|---|
| **PN/PA ≤ 1** | Generador de ácido | Peligroso |
| **PN/PA > 1 y PN/PA ≤ 3** | Generador potencial de ácido | Peligrosidad a definir con base en pruebas cinéticas*/ |
| **PN/PA > 3** | No genera 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**, a menos de que con base en pruebas cinéticas se demuestre lo contrario. | | |

**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 que permitan identificar los elementos del ambiente presentes, así como aquellos que sean susceptibles de afectación por los impactos generados por la operación del sistema. La caracterización del sitio debe contemplar los siguientes estudios e indicar las fuentes de referencia:

**5.3.1.** Aspectos climáticos.

**5.3.1.1.** Para asegurar la toma de las medidas necesarias para prevenir daños al sistema de lixiviación derivados de factores climatológicos y 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)** Región hidrológica de ubicación del sitio, cuenca y subcuenca (Figura 2. Regiones Hidrológico-Administrativas de la República Mexicana, Comisión Nacional del Agua, 2002).

**b)** Precipitación media mensual y anual así como sus valores máximos y mínimos.

**c)** Temperatura media mensual y anual así como sus valores máximos y mínimos.

**d)** Niveles de evaporación.

**e)** Tormenta máxima observada para una duración de 24 horas.

**f)** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 100 años.

**g)** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 10 años.

**h)** Tormenta de diseño para un periodo de retorno de 50 años.

**i)** Velocidad, dirección y frecuencia de los vientos.

**5.3.1.2.** El sitio seleccionado debe describirse de acuerdo con la Clasificación Topográfica en la República Mexicana, incluida como Cuadro 2 de la presente Norma.

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

**5.3.1.4.** Los tipos climáticos serán determinados con base en las cartas temáticas de clima del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, escala 1:1 000 000 (uno a un millón) (Climas-Escala 1:1 000 000, Instituto Nacional de Geografía e Informática, 2001).

**5.3.2.** Aspectos edafológicos.

Determinar e identificar el tipo de suelo de acuerdo con el Sistema FAO/UNESCO/ISRIC (Edafología, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 1994).

**5.3.3.** Aspectos geotécnicos.

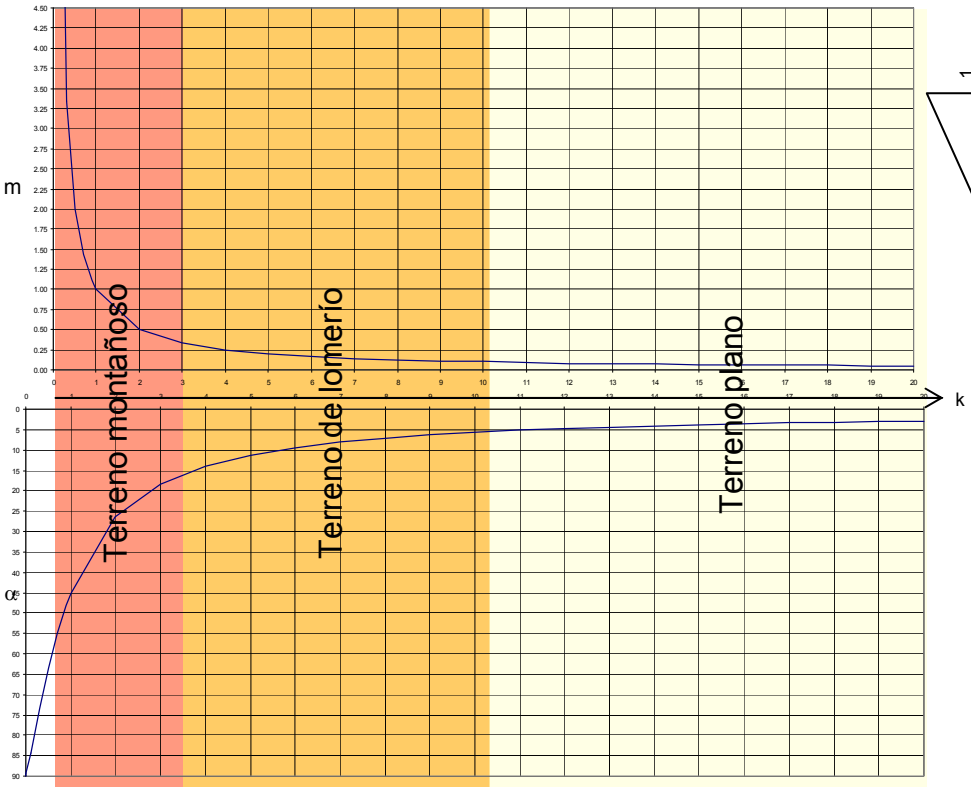
La información geotécnica debe ser utilizada en el proyecto para asegurar la estabilidad de las pilas. Los factores geotécnicos a considerar son:

**5.3.3.1.** Describir la estructura geológica general y en detalle de la zona en que se ubicará el sistema de lixiviación; las propiedades mecánicas de las formaciones rocosas, especialmente las relativas a su permeabilidad y resistencia; las fracturas presentes en el sitio y sus características; las condiciones de fisuramiento y orientación, amplitud, separación y profundidad de las fisuras; y el grado y profundidad actual de la roca intemperizada y posibilidades de alteración futura.

**5.3.3.2.** 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 clasificación de los suelos de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (véase Anexo Normativo 2), y realizar pruebas *in situ* de permeabilidad, porosidad, compresibilidad y resistencia al corte.

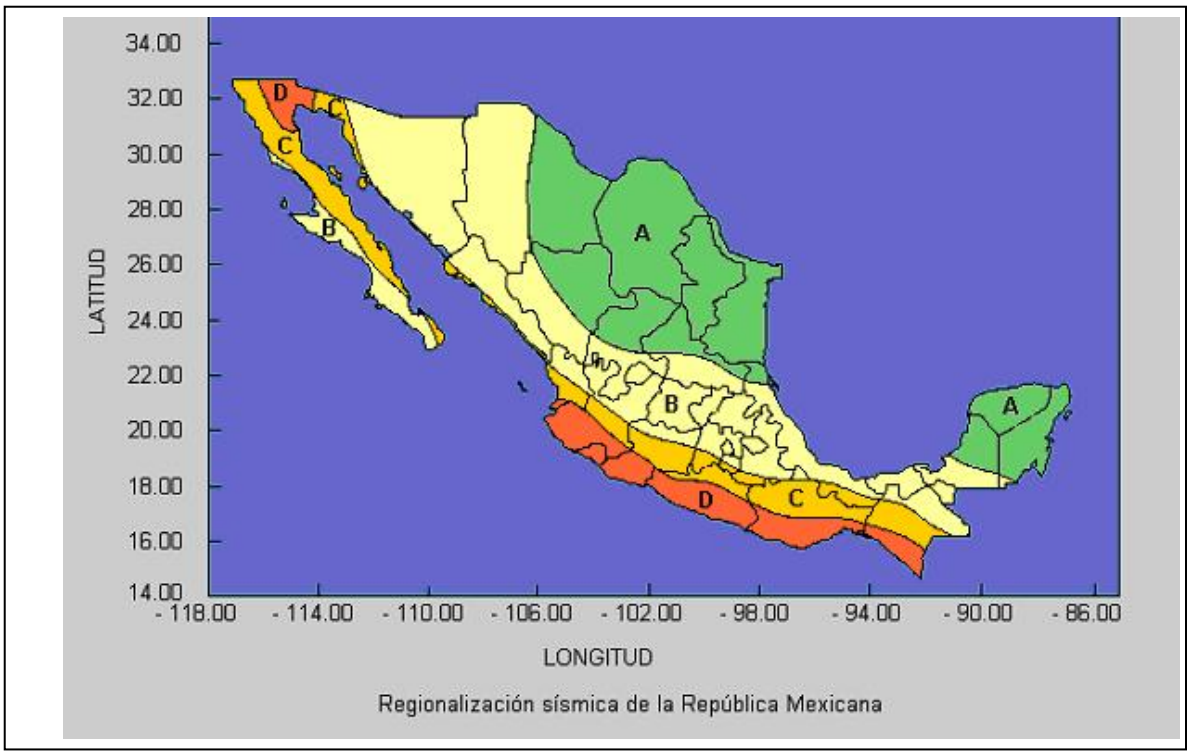
**Figura 2. Regiones Hidrológico-Administrativas de la República Mexicana**

**Cuadro 2. Clasificación topográfica en la República Mexicana**




| | | |
|---|---|---|
| 0.25 | 76.0 | 4.00 |
| 0.30 | 73.3 | 3.33 |
| 0.35 | 70.7 | 2.86 |
| 0.40 | 68.2 | 2.50 |
| 0.45 | 65.8 | 2.22 |
| 0.50 | 63.4 | 2.00 |
| 0.55 | 61.2 | 1.82 |
| 0.60 | 59.0 | 1.67 |
| 0.65 | 57.0 | 1.54 |
| 0.70 | 55.0 | 1.43 |
| 0.75 | 53.1 | 1.33 |
| 0.80 | 51.3 | 1.25 |
| 0.85 | 49.6 | 1.18 |
| 0.90 | 48.0 | 1.11 |
| 0.95 | 46.5 | 1.05 |
| 1.00 | 45.0 | 1.00 |
| 1.20 | 39.8 | 0.83 |
| 1.40 | 35.5 | 0.71 |
| 1.60 | 32.0 | 0.63 |
| 1.80 | 29.1 | 0.56 |
| 2.00 | 26.6 | 0.50 |
| 2.20 | 24.4 | 0.45 |
| 2.40 | 22.6 | 0.42 |
| 2.60 | 21.0 | 0.38 |
| 2.80 | 19.7 | 0.36 |
| 3.00 | 18.4 | 0.33 |
| 3.20 | 17.4 | 0.31 |
| 3.40 | 16.4 | 0.29 |
| 3.60 | 15.5 | 0.28 |
| 3.80 | 14.7 | 0.26 |
| 4.00 | 14.0 | 0.25 |
| 4.20 | 13.4 | 0.24 |
| 4.40 | 12.8 | 0.23 |
| 4.60 | 12.3 | 0.22 |
| 4.80 | 11.8 | 0.21 |
| 5.00 | 11.3 | 0.20 |
| 5.20 | 10.9 | 0.19 |
| 5.40 | 10.5 | 0.19 |
| 5.60 | 10.1 | 0.18 |
| 5.80 | 9.8 | 0.17 |
| 6.00 | 9.5 | 0.17 |
| 6.20 | 9.2 | 0.16 |
| 6.40 | 8.9 | 0.16 |
| 6.60 | 8.6 | 0.15 |
| 6.80 | 8.4 | 0.15 |
| 7.00 | 8.1 | 0.14 |
| 7.20 | 7.9 | 0.14 |
| 7.40 | 7.7 | 0.14 |
| 7.60 | 7.5 | 0.13 |
| 7.80 | 7.3 | 0.13 |
| 8.00 | 7.1 | 0.13 |
| 8.20 | 7.0 | 0.12 |
| 8.40 | 6.8 | 0.12 |
| 8.60 | 6.6 | 0.12 |
| 8.80 | 6.5 | 0.11 |
| 9.00 | 6.3 | 0.11 |
| 9.20 | 6.2 | 0.11 |
| 9.40 | 6.1 | 0.11 |
| 9.60 | 5.9 | 0.10 |
| 9.80 | 5.8 | 0.10 |
| 10.00 | 5.7 | 0.10 |
| 20.00 | 2.9 | 0.05 |
| 100.00 | 0.6 | 0.01 |

**Figura 3. Regiones sísmicas en la República Mexicana**




A) Región asísmica

B) Región penesísmica

C) y D) Región sísmica

**5.3.3.3.** Determinar la región sísmica donde se ubica el sitio con base en la información de la Figura 3: Regiones sísmicas en la República Mexicana (Regiones Sísmicas en México, Servicio Sismológico de la UNAM, 2003).

**5.3.4.** Aspectos hidrológicos

Para comprobar que el sistema de lixiviación no representa un riesgo para los cuerpos de agua superficiales y subterráneos existentes, en cuanto a su uso, aprovechamiento y explotación, se deben realizar los siguientes estudios:

**5.3.4.1.** 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, conforme a la NOM-011-CNA-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 las concentraciones de los parámetros físicos y químicos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y aquellos característicos de la operación del patio. Las técnicas de muestreo de cuerpos de agua serán las previstas en la normatividad en la materia. Se tomarán al menos dos muestras de agua, una en la época de estiaje y otra en la de lluvias.

**5.3.4.2.** Hidrología subterránea.

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

**a)** Evaluar la vulnerabilidad del acuífero de acuerdo con el Anexo Normativo 2 de la NOM-141-SEMARNAT-2003.

**b)** 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.

**c)** Efectuar la caracterización física y química del agua subterránea nativa, seleccionando aquellos 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 en aprovechamientos hidráulicos subterráneos aledaños a las obras del sistema de lixiviación. Para ello, se tomarán al menos dos muestras de agua subterránea, una en aguas arriba y la otra aguas abajo del sitio seleccionado.

**5.3.5.** Vida Silvestre.

**5.3.5.1.** 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.

**5.3.5.2.** 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-2001.

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

**5.3.5.4.** 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 III, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2005).

**5.4.** Determinación de la magnitud de riesgos físicos y criterios de proyecto del patio

**5.4.1.** Se debe evaluar la intensidad de los riesgos a los centros de población, cuerpos de agua superficiales, ecosistemas frágiles, especies en riesgo o áreas de suelos agropecuarios, asociados a las condiciones físicas del sitio en que se desarrollará y operará el sistema de lixiviación. Para ello 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.

**5.4.2.** En el Anexo Normativo 3, 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. Para asegurar la estabilidad de la obra durante el proyecto, construcción y operación del patio, se deben considerar las intensidades relativas de riesgo por:

- Capacidad de carga del terreno de cimentación
- Estabilidad de taludes de las pilas
- Asentamientos diferenciales en las pilas
- Rotura del recubrimiento
- Erosión en la superficie de las pilas por efecto de las lluvias, y
- Derrames de lixiviados por efecto de tormentas

**5.5.** Criterios de preparación del sitio

Si de acuerdo a los estudios de caracterización del sitio se encuentran elementos ambientales vulnerables o susceptibles de daño ambiental durante la construcción, operación o cierre del sistema de lixiviación, 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:

**5.5.1.** Hidrología.

**5.5.1.1.** La preparación del sitio para construir un sistema de lixiviación debe incluir medidas de prevención o 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.

**5.5.2** Suelo.

**5.5.2.1.** De manera previa a la construcción de obras, la capa de suelo vegetal debe ser retirada para utilizar este recurso en las actividades de reforestación o recuperación de la cubierta vegetal.

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

**5.5.2.3.** 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 contaminación del suelo por esos elementos.

**5.5.3.** Vida Silvestre.

**5.5.3.1.** 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, y apegándose a la normatividad de referencia.

**5.5.3.2.** 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 aquéllas con algún tipo de valor regional o biológico.

**5.5.3.3.** Se deben definir y ubicar superficies cercanas al área de afectación con dimensiones y condiciones ambientales que permitan reubicar, trasplantar, reforestar y proteger el germoplasma nativo en una proporción de especies similar a la original.

**5.5.3.4.** Se deben definir y señalar las zonas en que se mantendrá la vegetación rescatada y desarrollar un Programa de Protección que incluya áreas de conservación y, en su caso, delimitar el área para un jardín botánico, para el acopio de material vegetal representativo del sitio y aprovechar las semillas que produzcan individuos vegetales susceptibles de ser empleados en los trabajos de restauración del sitio.

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

**5.5.3.6.** El desmonte y despalme se deben realizar en forma gradual, para permitir el desplazamiento de la fauna hacia zonas menos perturbadas.

**5.5.3.7.** Cuando exista material producto del desmonte, proveniente de individuos de especies herbáceas y arbustivas no rescatables, se deberá triturar e incorporar al suelo almacenado.

**5.5.3.8.** Se deben establecer las medidas necesarias que limiten el acceso de especies de fauna silvestre a las soluciones cianuradas.

**5.6.** Criterios de obra

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

**5.6.2.** 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.

**5.6.3.** Debe asegurarse la estabilidad del patio, 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 3.

**5.6.4.** 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 evitar derrames.

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

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

**5.6.7.** 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 de mineral.

**5.6.8.** La impermeabilidad del recubrimiento debe mantenerse hasta que al patio se le haya eliminado totalmente la toxicidad y esté completamente estabilizado.

**5.6.9.** Las piletas cuyo propósito sea contener la solución del proceso, con excepción de la pileta 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 el material entre las geomembranas sea incapaz de contener, colectar, transportar y remover los líquidos a una tasa que prevenga la existencia de cargas hidráulicas de transferencia entre la primera y segunda membrana, la pileta debe ser sacada de operación y vaciada.

**5.6.11.** Se deben implementar medidas conducentes a mitigar las emisiones de polvos y partículas a la atmósfera, provenientes de la construcción, operación y cierre del patio, 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 o impedir la presencia de aves en las piletas de solución con cianuro.

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

**5.6.15.** El agua que se recircula en el circuito cerrado del sistema de lixiviación, no debe tener contacto con los cuerpos naturales de agua superficiales.

**5.7.** Criterios de construcción-operación

La construcción de los patios de lixiviación deberá ajustarse a las siguientes especificaciones:

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

**5.7.2.** Deben construirse todas las obras necesarias para el manejo del agua superficial dentro de la zona de influencia a la que pertenece el sistema de lixiviación, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de todas las instalaciones principales y complementarias, y evitar que el drenaje hidráulico local invada el patio.

**5.7.3.** La construcción de las obras complementarias se debe realizar considerando pendientes apropiadas que aseguren el buen manejo del agua superficial.

**5.7.4.** 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 este caso se deben colocar avisos de advertencia ubicados en forma apropiada, según las condiciones de topografía y visibilidad del sitio.

**5.7.5.** Las soluciones con cianuro deben mantenerse en un valor de pH de 10.5 o superior, para controlar la formación de ácido cianhídrico en niveles aceptables y evitar la creación de impactos ambientales significativos derivados de la toxicidad del compuesto.

**5.7.6.** Durante la construcción y operación del sistema de lixiviación, se debe realizar el monitoreo de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, mediante un muestreo semestral. Se deben especificar los puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo de los cuerpos de agua que puedan encontrarse en el sitio seleccionado.

**5.7.7.** En el caso de aguas subterráneas se deben construir y operar un mínimo de dos pozos de monitoreo, uno ubicado aguas arriba del sistema de lixiviación y otro aguas abajo. Este último debe colocarse a una distancia máxima de 1.5 veces del ancho de la pila de mineral para lixiviación en dirección perpendicular al flujo subterráneo local. En el caso de que la pila de mineral para lixiviación presente una geometría irregular se debe considerar la dimensión mayor de ésta.

**5.7.8.** Las distancias señaladas en el punto anterior pueden modificarse en función de las condiciones topográficas, de la variación del gradiente hidráulico, de la conductividad hidráulica y de la profundidad del nivel freático, así como de la disponibilidad del terreno, de tal manera que se asegure un monitoreo periódico y confiable del acuífero.

**5.7.9.** 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.

**5.7.10.** Si en la evaluación correspondiente resulta un acuífero vulnerable o existen aprovechamientos alrededor del sistema de lixiviación, el monitoreo debe llegar hasta el nivel del agua. En este caso se deben construir obras de ingeniería complementarias que garanticen la no afectación a los acuíferos.

**5.7.11.** Para el muestreo representativo y análisis del agua subterránea, se deben considerar los parámetros utilizados en la caracterización física y química del agua subterránea, señalados en el numeral 5.3.4.2.1 c). El monitoreo de las aguas superficiales en los sitios aledaños al patio, se debe realizar de acuerdo a las consideraciones del numeral 5.3.4.1.

**5.7.12.** Cuando se deban instalar líneas de piezómetros para determinar el nivel de saturación acuosa del patio y evitar un deslizamiento o agrietamiento conforme al numeral 5.4.1, el número de líneas de piezómetros será como mínimo de una y el proyecto de la obra deberá determinar la cantidad específica para asegurar el monitoreo correcto y oportuno.

**5.7.13.** Se deben instalar testigos de movimiento y registrar periódicamente las observaciones, con el fin de correlacionar si los movimientos detectados en la estructura se deben a sismos, a sobresaturación acuosa o asentamiento del terreno, ya que pueden provocar una falla de la estructura.

**5.8.** Eliminación de toxicidad

**5.8.1.** El mineral lixiviado o gastado contenido en los patios, una vez que ha terminado la recuperación de valores, debe ser lavado y, en su caso, tratado, hasta que en la solución de lavado del patio:

**a)** Los niveles de complejos débiles de cianuro asociados a los metales (WAD-CN) en el efluente de agua lavada y/o tratada sean menores a 0.2 mg/L.

**b)** Las concentraciones de metales y metaloides cumplan con los límites máximos permisibles para contaminantes básicos establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

**c)** El nivel del potencial hidrógeno (pH) en el efluente de agua lavada o tratada esté entre 5 y 10 unidades.

**5.8.2.** Una vez cumplido lo establecido en el numeral 5.8.1 se debe dejar extraer el máximo de líquido existente de la pila.

**5.8.3.** Debe tenerse la información de los procedimientos para la caracterización de los materiales lixiviados o gastados de proceso, cuando se fueron generando, además de los procedimientos para estabilizar todos los componentes de procesos, en particular los utilizados en la estabilización de los materiales gastados del proceso.

**5.9.** Criterios para el cierre del patio

**5.9.1.** Una vez que la pila llegue al final de su vida útil, se deben implementar las medidas necesarias para:

**a)** Prevenir la erosión hídrica y eólica con el fin de garantizar que no se afecten suelos, sedimentos y cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

**b)** Garantizar la estabilidad física del patio.

**5.9.2.** Cuando las pilas, durante la etapa de operación sean generadores potenciales de ácido, se deben establecer medidas para evitar la formación de drenaje ácido, asegurando la no disolución de los elementos tóxicos.

**5.9.3.** Cuando no sea pertinente establecer las medidas señaladas en el numeral anterior para prevenir la formación de drenaje ácido, se deben establecer medidas de tratamiento del mismo para evitar daños en cuerpos de agua, suelos y sedimentos, ya sea por su acidez o por contaminación con elementos tóxicos.

**5.9.4.** El patio debe ser inhabilitado, conforme a los siguientes conceptos:

**a)** Estabilidad de taludes y modificación de su pendiente, con la finalidad de frenar la velocidad de escurrimientos superficiales y disminuir procesos erosivos.

**b)** Establecimiento de vegetación nativa:

- La superficie del patio debe ser cubierta con el suelo recuperado, de ser el caso, o con materiales que permitan la fijación de especies vegetales.
- Las especies vegetales que se utilicen para cubrir el depósito deben ser originarias de la región, para garantizar la sucesión y permanencia con un mínimo de conservación.

**c)** Asegurar que las condiciones de drenaje eviten que los escurrimientos superficiales afecten a la pila.

**5.9.5.** Las piletas de solución preñada y gastada deben restaurarse considerando:

**a)** Su relleno y contorneo aproximados a la forma original del sitio.

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

**5.9.6.** Los taludes deben ser ajustados, en su caso, para dar una inclinación que garantice la estabilidad estática y dinámica de la pila de mineral lixiviado.

**5.9.7.** Se debe realizar el cierre de instalaciones metalúrgicas y la limpieza y el desmantelamiento de las mismas, a menos que tengan una utilidad para terceros.

**5.10.** Monitoreo

**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. El monitoreo durante la etapa de cierre debe ajustarse a lo establecido en los numerales 5.7.7, 5.7.8, 5.7.9, 5.7.10 y 5.7.11. Se debe realizar un muestreo anual de los acuíferos durante un periodo determinado por el resultado del monitoreo, a partir de la fecha del cierre definido del patio.

**5.10.1.1.** Monitoreo de aguas superficiales.

**5.10.1.1.1.** El monitoreo de las aguas superficiales en los sitios aledaños al patio, se debe realizar de acuerdo a las consideraciones del numeral 5.3.4.1.

**5.10.1.1.2.** Se debe tomar como base la normatividad vigente sobre descargas de aguas residuales, con respecto a los parámetros, 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 patio.

**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 5.3.4.1. d), se debe hacer del conocimiento de la autoridad competente y llevar a cabo las medidas de corrección pertinentes.

**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 5.7.7.

**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, indicados en el numeral 5.3.4.2.1 c).

**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 de agua nativa determinada en el numeral 5.3.4.2.1. c), se debe hacer del conocimiento de la autoridad competente y llevar a cabo las medidas de corrección y saneamiento pertinentes.

**5.10.1.2.4.** El monitoreo de aguas superficiales y subterráneas podrá concluirse una vez cumplidas las condiciones a, b y c del numeral 5.8.1 de esta norma, siempre y cuando el mineral lixiviado o gastado no sea peligroso conforme a lo establecido en el numeral 5.2.

**5.10.2.** Monitoreo piezométrico de los taludes conforme al numeral 5.7.12.

**5.10.3.** Testigos de movimiento conforme a lo establecido en el numeral 5.7.13.

**5.10.4.** Dispersión de partículas.

**5.10.4.1.** Periódicamente 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.

**5.10.4.2.** El monitoreo de partículas suspendidas totales podrá concluirse cuando se dé cumplimiento a los criterios de cierre del patio de los numerales 5.9.1.a) y 5.9.4.b).

**5.10.5.** Sismología.

**5.10.5.1.** Cuando el patio se ubique en una región sísmica, de acuerdo a la Figura 3, se debe instalar un sismógrafo en alguno de los taludes.

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

**5.10.6.** Protección de especies en riesgo.

**5.10.6.1.** Cuando se desarrollen programas de acuerdo al numeral 5.5.3.4, 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 y estar disponible para la autoridad competente que requiera su revisión. Las acciones de monitoreo deben realizarse con una periodicidad de seis meses.

**5.10.6.2.** 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.

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

**6. 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 podrá realizar por la PROFEPA o por las unidades de verificación acreditadas y aprobadas en los términos establecidos por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

**6.3.** Para que la evaluación la realice la PROFEPA, el promovente deberá cumplir con el trámite registrado para tal efecto en el Registro Federal de Trámites y Servicios.

**6.4.** En caso de que el promovente desee que la evaluación sea realizada por una unidad de verificación, éste deberá contratar los servicios de alguna de las unidades de verificación acreditadas y aprobadas por la Secretaría.

**6.5.** 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:

**6.5.1.** Verificar la existencia y contenido de los informes de resultados de laboratorio de las caracterizaciones del mineral lixiviado o gastado, de acuerdo al numeral 5.2.

**6.5.2** Verificar la existencia de las tres muestras (triplicado), de las cuales la PROFEPA o las unidades de verificación podrán disponer de una de ellas para corroborar los resultados reportados de las pruebas referidas en los numerales 5.2.5 y 5.2.6.

**6.5.3** Verificar la existencia y contenido de los siguientes estudios: aspectos climáticos, aspectos edafológicos, aspectos geotécnicos, aspectos hidrológicos y vida silvestre, de acuerdo al numeral 5.3.

**6.5.4** Verificar la determinación de la magnitud de riesgos físicos y los criterios del proyecto del patio establecidos en el numeral 5.4.

**6.5.5** Verificar que no existan elementos ambientales vulnerables o susceptibles de daños ambientales durante la construcción, operación o cierre del sistema de lixiviación, conforme al numeral 5.5.

**6.5.6** Verificar al término de las operaciones la existencia y contenido de la caracterización de los valores de fondo del suelo, conforme al numeral 5.5.2.3.

**6.5.7** Verificar la existencia y contenido de los proyectos de conservación y recuperación, o medidas especiales de manejo y conservación del hábitat, de acuerdo al numeral 5.5.3.1.

**6.5.8** Verificar la existencia y contenido de los informes de monitoreo semestral de los cuerpos de agua superficial y subterráneos, conforme a los numerales 5.7.6 a 5.7.11.

**6.5.9** Verificar la existencia y contenido de los registros periódicos de las observaciones de los testigos de movimientos, de acuerdo al numeral 5.7.13.

**6.5.10** Verificar en las bitácoras los procedimientos para la caracterización de los materiales lixiviados o gastados conforme se fueron generando, además de los procedimientos para estabilizar los materiales lixiviados o gastados, de acuerdo al numeral 5.8.3.

**6.5.11** Verificar las medidas de prevención o control de la contaminación de cuerpos de agua superficiales que garanticen su no afectación, conforme lo establece la especificación 5.5.1.1.

**6.5.12** Verificar 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 establecen las especificaciones 5.5.2.1 y 5.5.2.2.

**6.5.13** Verificar la existencia y contenido del estudio en el que se identificaron las especies arbóreas y biológicas de especial interés, de acuerdo al numeral 5.5.3.2.

**6.5.14** Verificar la superficie para reubicar, trasplantar, reforestar y proteger el germoplasma, de acuerdo al numeral 5.5.3.3.

**6.5.15** Verificar las zonas para la vegetación rescatada, y el programa de protección, de acuerdo al numeral 5.5.3.4.

**6.5.16** Verificar la existencia y contenido del método que garantice una sobrevivencia del 95% o más de los ejemplares reubicados o trasplantados, de acuerdo al numeral 5.5.3.5.

**6.5.17** Verificar en su momento o a través de bitácoras, que el desmonte y despalme se realice o se haya realizado en forma gradual, de acuerdo al numeral 5.5.3.6.

**6.5.18** Verificar las medidas que limiten el acceso de fauna silvestre a las soluciones cianuradas, de acuerdo al numeral 5.5.3.8.

**6.5.19** Verificar las especificaciones establecidas en los numerales 5.6.1 al 5.6.5, 5.6.7 y 5.6.9.

**6.5.20** Verificar que el recubrimiento del patio sea impermeable en tanto el mineral lixiviado o gastado siga siendo tóxico o siga generando lixiviados, de acuerdo al numeral 5.6.8.

**6.5.21** Verificar el cumplimiento de medidas señaladas en las especificaciones 5.6.6, 5.6.10 y 5.6.11 a 5.6.15.

**6.5.22** Verificar el cumplimiento de las especificaciones 5.7.1 a 5.7.4.

**6.5.23** Verificar los registros periódicos de los testigos de movimiento, de acuerdo al numeral 5.7.13.

**6.5.24** Verificar los registros de valores de pH de las soluciones cianuradas, de acuerdo al numeral 5.7.5.

**6.5.25** Verificar la existencia y contenido de los informes emitidos por un laboratorio acreditado y aprobado, en el que el mineral lixiviado o gastado, una vez que ha terminado su recuperación de valores, cumpla con lo establecido en el numeral 5.8.1.

**6.5.26** Verificar que se cumpla la especificación del numeral 5.8.2.

**6.5.27** Verificar el cumplimiento de las medidas indicadas en el apartado 5.9.

**6.5.28** Verificar la existencia y contenido del programa de monitoreo anual para la etapa de cierre, conforme al numeral 5.10.1.

**6.5.29** Verificar la existencia y contenido de los reportes o informes de los monitoreos: de piezométricos de los taludes y de testigos de movimientos, conforme a los numerales 5.10.2 y 5.10.3

**6.5.30** Verificación documental y ocular de lo establecido en los numerales 5.10.4 y 5.10.5.

**6.5.31** Verificar las acciones de monitoreo de protección de especies en riesgo establecidas en el numeral 5.10.6.

**6.6.** 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.

**6.7.** 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 el cumplimiento en un plazo máximo de 20 días naturales, contados a partir de la fecha de la notificación.

**6.8.** Los dictámenes de las unidades de verificación serán reconocidos en los términos que determine la autoridad competente

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

Esta Norma Oficial Mexicana concuerda con algunas disposiciones jurídicas sobre protección ambiental de las actividades mineras, establecidas en el Título 40 Sección 445A.350-445A.447 Seguridad y Salud Pública (Agua) del Código Administrativo del Estado de Nevada, Estados Unidos de América.

**8. Bibliografía**

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

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

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.

Australia EPA (1998a). Contorneo para la Rehabilitación. Guía de Mejores Prácticas de Manejo Ambiental de la Minería. Australia.

Australia EPA (2003). Manejo de Cianuro. Guía de Mejores Prácticas de Manejo Ambiental de la Minería. Australia.

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.

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.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Edafología, 1994.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Uso de Suelo y Vegetación Serie III, 2005.

Marsden, J. and House, I. (1992). La Química de la Extracción del Oro. Ellis Horwood Limited. Chichister, England.

Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Programa de Industria y Medio Ambiente (2000). Guías Ambientales para Operaciones Mineras. ST/TCD/20, Paris, France.

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. Paris, Francia. Universidad Nacional Autónoma de México, Regiones Sísmicas en México, Servicio Sismológico de la UNAM, 2003.

Smith, A.C.S. and Mudder, T.I. (1999). La Geoquímica Ambiental del Cianuro. En G.S. Plumlee and M.J. Logsdon (Editores): La Geoquímica Ambiental de los Depósitos de Minerales. Parte A: Procesos, Técnicas y Aspectos de Salud. Revista de Geología Económica Volumen 6a. Sociedad de Economía Geológica, Inc. (Littleton, Col., USA): 229-48.

US DOI, Bureau de Minas (1969a). RI 7250. Lixiviación Experimental de Oro de los Residuos Mineros. Washington, D.C.

US DOI, Bureau de Minas (1969b). TPR 20. Recuperación de Oro de los Residuos del Descapote y del Mineral por Percolación por Lixiviación con Cianuro. Washington, D.C.

US DOI, Bureau de Minas (1984). Prácticas de Lixiviación de Oro y Plata en los Estados Unidos. Circular Informativa No. 8969. Washington, D.C.

US EPA. Oficina de Residuos Sólidos. División de Residuos Especiales (1994). Extracción y Beneficio de Minerales. Volumen 2: Oro. Documento Técnico. EPA 530-R-94-013. Washington, D.C.

Van Zyl, D., Hutchinson, I., Kiel, J. Introducción a la Evaluación, Diseño y Operación de Proyectos de Lixiviación de Metales Preciosos. Sociedad de Ingenieros Mineros. Inc., Littleton, USA. 1988.

**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.-** Provéase la publicación de este Proyecto de Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación.

México, Distrito Federal, a los veinticuatro días del mes de enero de dos mil ocho.- 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. Prueba de extracción de constituyentes tóxicos**

**Procedimiento de Movilidad con Agua Meteórica (MWMP)**

**1. Alcance**

El propósito del procedimiento de movilidad con agua meteórica (MWMP, por las siglas en inglés de Meteoric Water Mobility Procedure) es evaluar el potencial para la disolución y la movilidad de ciertos componentes de una muestra de mineral con agua meteórica. El procedimiento consiste en hacer pasar un fluido de extracción (efluente) a través de una columna con una muestra de mineral, por un periodo de 24 horas y con una relación del fluido de extracción/mineral de 1:1. El fluido de extracción es agua tipo II grado reactivo.

**2. Material y equipo**

**2.1.** Dispositivo de extracción: consiste en una columna de PVC con las siguientes características:

- Diámetro interno de 15 cm (6 in.)
- Altura suficiente para contener un mínimo de 5 kg de muestra
- Tamaño máximo de partícula de 5 cm (2 in.)
- Altura suficiente para la saturación de la muestra con el líquido de extracción. (Aproximadamente 8 kg de muestra con un tamaño de partícula máximo de 5 cm por 30.5 cm. de altura de la columna).

Para 5 kg de muestra se recomienda que la columna sea de 15 cm de diámetro interno por 45 cm de altura. Se requerirá una altura adicional de la columna para muestras mayores a 5 kg. El fondo de la columna se debe sellar y colocar un conducto de descarga para la solución lixiviante sobre el fondo sellado de la columna y por debajo de la placa de secado. Ver figura 1.

**2.2.** Fieltros de lana de vidrio (inerte). Se coloca un fieltro sobre la placa de secado, antes de la carga del mineral en la columna, para reducir al mínimo la migración y, otro fieltro sobre la tapa del mineral, después de la carga de la columna, para ayudar a la distribución uniforme del líquido de extracción.

**2.3.** Una bomba dosificadora o dispositivo para asegurar el flujo constante del líquido de extracción.

**2.4.** Contenedores para el líquido lixiviante o de extracción. Los contenedores deben ser de la medida correcta para recuperar el volumen total del líquido de extracción durante la prueba y se deben cubrir para evitar una posible contaminación de fuentes externas al dispositivo de la prueba.

**2.5.** Una balanza, capaz de pesar un 1.0 g.

**2.6.** Charolas para determinar el contenido de humedad de la muestra.

**2.7.** Un pH metro con una legibilidad de 0.01 unidades y una exactitud ±0.05 unidades en 25°C.

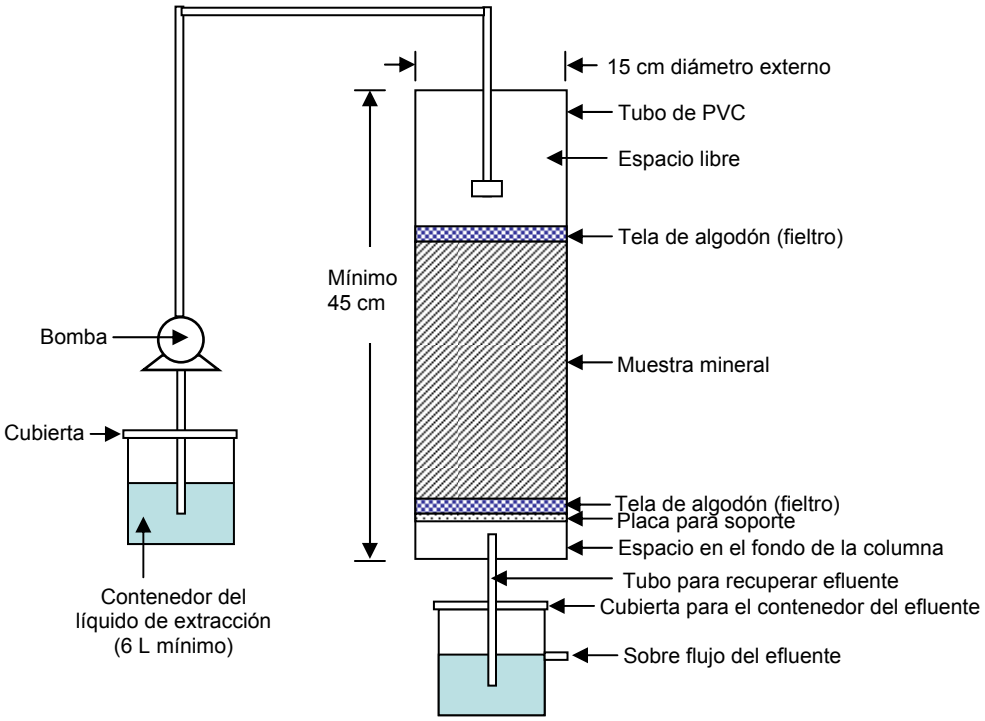



Figura 1.

**2.8.** Sistema de filtración equipado con filtros de poro de 0.45 μm. En caso de que el tiempo de filtración sea excesivo se puede recurrir a una pre-filtración o a una centrifugación

**2.9.** Mangueras o tubo de vidrio con un diámetro y longitud suficiente para el montaje de la columna de lixiviación

**3. Reactivos**

Agua grado reactivo tipo II- agua purificada por destilación, intercambio de iones, osmosis inversa, electrodiálisis o una combinación de éstos, conformándose con las especificaciones para el tipo de agua grado reactivo del tipo II.

**4. Muestreo**

**4.1.** El muestreo se debe realizar de tal manera que se asegure que se tiene una muestra representativa de mineral gastado. La muestra debe contener una distribución granulométrica representativa.

**4.2.** La cantidad mínima de muestras de mineral gastado requeridas para el MWMP es de 5 kg. Se debe tener disponible en el laboratorio por lo menos 7 kg de muestra de mineral gastado, para la determinación del contenido de humedad, MWMP y otros posibles análisis que se requieran.

**4.3.** Las muestras deben mantenerse en envases cerrados, que sean apropiados para el tipo de muestra y para su transporte al laboratorio de análisis.

**5. Preparación de la muestra**

**5.1.** Extraiga la muestra del envase y mezcle, para obtener una muestra que determine el contenido de humedad original (aproximadamente 1 kg).

**5.2.** Haga pasar el resto de la muestra (5 kg o más) a través de una malla de 5 cm (2 in.) y calcule la distribución de tamaño como porcentaje.

**5.3.** Guarde el material de menos 5 cm para una recombinación subsecuente con el material triturado de más de 5 cm.

**5.4.** Después del cribado, pese el material de más y menos 5 cm y calcule la distribución granulométrica.

**5.5.** Triture el material de más 5 cm para hacerlo pasar a través de la malla de 5 cm (2 in.), cribelo y recombine con el material ya cribado de menos 5 cm.

**5.6.** Mezcle a fondo el 100% del material recombinado de menos 5 cm, y use el contenido de humedad original de la muestra (5.1.), calcule el peso seco de la muestra para asegurar un mínimo de 5 kg (peso seco) para que esté disponible para la muestra de extracción MWMP.

**5.7.** Coloque el 100% del material de menos 5 cm en la columna de manera tal que se reduzca al mínimo la segregación y compactación de la partícula.

**6. Procedimiento de extracción**

**6.1.** Ajuste el flujo del líquido de extracción de tal manera que el número de mililitros de este líquido aplicados a la columna en un periodo de 24 horas sea igual al número de gramos secos de muestra en la columna.

Flujo[mL/min]= gmuestra* (1mL/1g)*(1h/60min)* (1día/24h)

**6.2.** Mida y registre el pH inicial del líquido de extracción.

**6.3.** Adicione el líquido de extracción en la parte superior de la muestra contenida en la columna al flujo predeterminado. Si resulta evidente que el tamaño de partícula de la muestra no permite la filtración razonable del líquido de extracción, aborte el procedimiento de extracción y someta la muestra a un procedimiento alterno de extracción.

**6.4.** Cuando un volumen igual a la masa de sólidos secos en la columna se ha hecho pasar a través de la columna (asuma 1 mL/g), cese el flujo del líquido de extracción. Nota: La muestra conservará el líquido de extracción de manera que el flujo de este líquido debe continuar hasta que el volumen del efluente (relación 1:1 de sólidos/efluente) se ha recolectado. Esto requerirá de más de 24 horas pero no debe exceder de 48 horas.

**6.5.** Mezcle inmediatamente el efluente. Entonces obtenga una muestra del efluente para los análisis requeridos.

**6.6.** Mida y registre el pH del efluente.

**6.7.** Filtre la muestra a través de una membrana de 0.45 µm para obtener el efluente para los análisis de los componentes disueltos. Si es necesario, centrifugue o prefiltre.

**6.8.** Preserve apropiadamente la muestra del efluente para los análisis requeridos.

**6.9.** Permita que la muestra, después de la extracción, drene hasta que la superficie de la muestra no tenga humedad y que transcurran por lo menos dos minutos entre cada gota del efluente de la columna.

**6.10.** Remueva la muestra residual de la columna y tome una porción representativa para determinar la humedad.

**6.11.** Mezcle la muestra residual húmeda para obtener las muestras para análisis adicionales, en caso necesario.

**7. Reportes**

Se anexa bitácora para el reporte del procedimiento experimental y reporte de análisis químicos de la prueba MWMP, donde los siguientes datos deben ser obligatoriamente reportados:

**7.1.** pH extractante antes de la extracción

**7.2.** pH extractante después de la extracción

**7.3.** Peso de la muestra seca

**7.4.** Humedad inicial y final de la muestra utilizada

**7.5.** Tiempo de contacto del extracto con la muestra

**7.6.** Procedimientos.

**BITACORA PARA EL REPORTE DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

| **Datos Generales** | | |
|---|---|---|
| Empresa: | | |
| Responsable de la empresa: | | |
| Nombre del proyecto: | | |
| Responsable del proyecto: | | |
| Analista o técnico de laboratorio: | | |
| Procedencia de la muestra: | | |
| Características de muestreo: | | |
| O Superficial | O Sub-superficial a una profundidad (m): | |
| Otro: | | |
| **Método MWMP** | | |
| Fecha de inicio de la prueba: | | |
| No. de columna | Diámetro interno (cm) | Altura (cm) |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| Observaciones: | | |

| No. de columna | Identificación de la muestra | Distribución granulométrica (%) | | Peso (gr) | | % Humedad inicial de la muestra |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | -2” | +2” | Húmedo | Seco | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | |

| No. de columna | Identificación de la muestra | Hora de inicio de la prueba | Volumen de la solución de extracción (mL) | Flujo de la solución de extracción (mL/min) | Hora final de la prueba | Hora final de recolección de la solución de extracción |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Observaciones: | | | | | | |

| No. de columna | Identificación de la muestra | pH inicial de la solución de extracción | pH final del liquido de extracción | Filtro (µm) | % Humedad final de la muestra |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Fecha final de la prueba: | | | | | |
| Observaciones: | | | | | |

| **Análisis Químico** | |
|---|---|
| Analista: | |
| Fecha de Solicitud: | Fecha de entrega: |
| Observaciones: | |

**REPORTE DE RESULTADOS ANALITICOS DE LIXIVIADOS**

| No. de columna | Identificación de la muestra | As (ppm) | Ba (ppm) | Cd (ppm) | Cr (ppm) | Hg (ppm) | Ag (ppm) | Pb (ppm) | Se (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

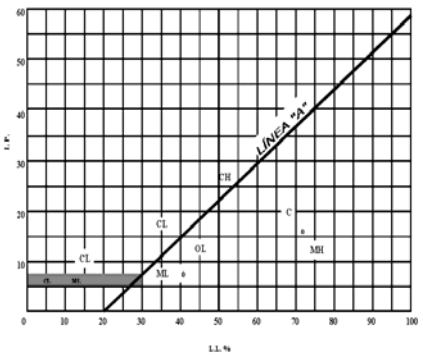
**OTROS ELEMENTOS ANALIZADOS (PPM)**

| No. de columna | Identificación de la muestra | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

## Anexo Normativo 2. 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<br>Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ® | Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista. | GRAVAS<br>Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 | PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE ¼ cm COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4 | GRAVA LIMPIA<br>Poco o nada de partículas finas | GW | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos | DETERMINENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LAS CURVA GRANULOMETRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos de 5%: GW, GP, SW, SP; más de 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles ** | COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4.<br>COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3.<br>$Cu=D_{60}/D_{10}$ $Cc=(D_{30})^2/(D_{10})(D_{60})$ |
| | | | | | GP | Gravas mal graduadas, mezcladas de grava y arena con poco o nada de finos | | NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW. |
| | | | | GRAVA CON FINOS<br>Cantidad apreciable de partículas finas | GM d / u | Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo | | LIIMTES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4. — Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles |
| | | | | | GC | Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla | | LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. |
| | | ARENAS<br>Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 | | ARENA LIMPIA<br>Poco o nada de partículas finas | SW | Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. | | Cu = $D_{60}$ /$D_{10}$ mayor de 6; $Cc=(D_{30})^2/(D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3 |
| | | | | | SP | Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. | | No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW |
| | | | | ARENA CON FINOS<br>Cantidad apreciable | * SM d / u | Arenas limosas, mezclas de arena y limo. | | LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4. — Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
| | | | | | SC | Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla | | LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7. |
| SUELOS DE PARTICULAS FINAS<br>Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ® | | LIMOS Y ARCILLAS<br>Límite Líquido<br>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 | CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) | |
| | | | | | OL | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. | | |
| | | LIMOS Y ARCILLAS<br>Límite Líquido<br>Mayor de 50 | | | 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. | | |
| | | SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS | | | P | Turbas y otros suelos altamente orgánicos. | | |



**Anexo Normativo 3. Clasificación mexicana de patios: intensidad relativa de riesgo, métodos para análisis de estabilidad y tipo de monitoreo recomendado**

| Clase | Subclase | Categoría | TOPOGRAFÍA | | | HIDROLOGÍA | | | SISMICIDAD | | | PROBABLE INTENSIDAD RELATIVA DE RIESGO* | | | | | | MÉTODOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD** | | | | | TIPO DE MONITOREO RECOMENDADO** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | TERRENO | | | ZONA | | | REGIÓN | | | GEOTÉCNICO | | | HIDRÁULICO | | | | | | | | | | | |
| | | | M | L | P | C | H | S | S | P | A | CC | [illegible] | AD | RM | EP | DT | $E_c$ | $E_f$ | $P_e$ | $D_f$ | $D_n$ | P | I | R | S |
| | | 1 | x | | | x | | | x | | | 3 | 7 | 7 | 7 | 3 | 3 | D | A | D | A | B | A | B | A | A |
| | 1 | 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 | - |
| | | 4 | x | | | | x | | x | | | 2 | 6 | 6 | 6 | 2 | 2 | D | A | D | A | B | A | B | A | A |
| I | 2 | 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 | - |
| | | 7 | x | | | | | x | x | | | 1 | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | C | A | C | A | B | A | B | A | A |
| | 3 | 8 | x | | | | | x | | x | | 1 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | B | A | B | A | B | A | C | A | B |
| | | 9 | x | | | | | x | | | x | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | B | A | - | - | - | B | - | A | - |
| | | 10 | | x | | x | | | x | | | 4 | 6 | 6 | 6 | 3 | 3 | B | A | B | A | B | A | B | A | A |
| | 4 | 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 | - |
| | | 13 | | x | | | x | | x | | | 3 | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | B | A | B | A | B | A | B | A | A |
| II | 5 | 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 | - |
| | | 16 | | x | | | | x | x | | | 2 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | B | A | B | A | B | A | B | A | A |
| | 6 | 17 | | x | | | | x | | x | | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | B | A | A | A | B | A | C | A | B |
| | | 18 | | x | | | | x | | | x | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | A | B | - | - | - | B | - | A | - |
| | | 19 | | | x | x | | | x | | | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | B | A | B | A | B | A | B | A | A |
| | 7 | 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 | - |
| | | 22 | | | x | | x | | x | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | B | A | B | A | B | A | B | A | A |
| III | 8 | 23 | | | x | | x | | | x | | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | B | A | B | A | B | A | C | A | B |
| | | 24 | | | x | | x | | | | x | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | A | B | - | - | - | B | - | A | - |
| | | 25 | | | x | | | x | x | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | B | A | B | A | B | A | B | A | A |
| | 9 | 26 | | | x | | | x | | x | | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | A | B | A | B | B | A | C | A | B |
| | | 27 | | | x | | | x | | | x | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | A | B | - | - | - | B | - | A | - |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | Estático | | | Dinámico | | | | | |
| | | | Montañoso | Lomerío | Plano | Cálida | Húmeda (lluviosa) | Seca | Sísmica | Penasísmica | Asísmica | Capacidad de Carga | Estabilidad de Taludes | Asentamientos Diferenciales | Ruptura de Membranas (fracturamiento) | Erosión Pluvial (superficial) | Derrame por Tormenta (elevación de bordes) | Convencional | Elemento finito | Pseudoestático | Elemento finito | Red neuronal | Piezómetros | Inclinómetros | Referencias superficiales | Sismógrafos |

* 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 identificar la probable intensidad relativa de riesgo, los métodos para análisis de estabilidad y el tipo de monitoreo recomendado de un sistema de lixiviación de minerales de oro y plata**

**a)** El patio debe presentar siempre una estructura estable y asegurar que la colocación del mineral en la pila evite daños en el recubrimiento impermeable y filtraciones por asentamientos diferenciales. Es importante limitar el espesor de la capa de apoyo y su compacidad correspondiente, y evitar la segregación de las partículas del material.

**b)** La capacidad de carga máxima admisible (Factor de Seguridad: FS = 3) del terreno de cimentación, al nivel de desplante de la pila, debe ser mayor que la presión de contacto máxima inducida por dichas pilas (peso volumétrico total posible por altura máxima esperada), para asegurar la estabilidad de sustentación.

**c)** Los métodos para analizar y revisar la estabilidad por deslizamiento de los taludes en las pila, son de dos clases; a saber:

- Estáticos (aceleración nula de la masa de material deslizante)
- Dinámicos (aceleración variable, según la intensidad sísmica o por explosiones cercanas)

**d)** El Factor de Seguridad (FS) mínimo contra deslizamiento de taludes en la pila será de uno punto cinco (1.5) para condiciones estáticas y de uno punto cero cinco (1.05) para condiciones dinámicas (sismo o explosión), con el fin de establecer la inclinación de los taludes en las diversas etapas de desarrollo.

**e)** El método estático convencional ($E_c$) se refiere al simple análisis de calcular el factor de seguridad (FS), que es la relación entre el momento resistente total (fuerza cortante total desarrollada en la superficie potencial de deslizamiento multiplicada por el radio de giro) y el momento motor total (suma de fuerzas actuantes sobre las dovelas de masa deslizantes, multiplicadas por sus respectivos brazos de palanca, con centro de giro común). Si el FS>1.5, se considera estable el talud para su correspondiente inclinación de prueba. A base de iteraciones sucesivas con programas especiales de cómputo, rápidamente se obtienen las isocaracterísticas (curvas de centros de giro para el mismo FS).

**f)** El método estático del elemento finito ($E_f$) establece la discretización del medio continuo en elementos triangulares o cuadrados con propiedades iniciales dadas (peso volumétrico, módulo elástico, cargas externas, etc.). Se simula lo indicado en el apartado e) con programas especiales de cómputo y se presentan los resultados en forma similar, pero complementados con los estados de esfuerzos (compresión, tensión y cortante) dentro de la masa del material deslizante.

**g)** El método pseudoestático (Pe) es similar al estático indicado en los apartados e) y f), salvo que se añade una fuerza dinámica (F), igual a la masa del material (m) multiplicada por la aceleración asignada (a), de acuerdo con la segunda Ley de Newton.

**h)** El método dinámico de elemento finito ($D_f$) es similar al indicado en los apartados e) y f), salvo que se añaden también las fuerzas dinámicas descritas en g).

**i)** El método de redes neuronales ($D_n$) consiste en simular, previo entrenamiento, el comportamiento neuronal del cerebro humano, que inicia con los datos de entrada (en este caso: fuerzas externas aplicadas, pesos volumétricos esperados, rigidez relativas, módulos elásticos, geometría bi o tridimensional); luego se aplican las funciones de transferencia entre las neuronas de una capa a la otra, en todas las combinaciones posibles; finalmente, se obtiene la información de salida (FS, esfuerzos y deformaciones, etc.), que debe calibrarse mediante la solución al problema inverso (retro cálculo), hasta que se obtengan datos dentro del nivel de confianza asignado, de acuerdo con la estadística.

Ejemplos:

**Ejemplo 1.** Un sitio seleccionado para construir una obra de lixiviación (pila) en terreno montañoso, zona ciclónica y región sísmica, se clasifica en la categoría 1 (la más conflictiva), lo cual corresponde a las siguientes características:

**Probable intensidad relativa de riesgo**

**A)** Geotécnico

**a)** Por capacidad de carga: 3

**b)** Por estabilidad de taludes: 7 (la mayor)

**c)** Por asentamientos diferenciales: 7 (la mayor)

**B)** Hidráulico

**a)** Debido a rotura de membranas: 7 (la mayor)

**b)** Debido a erosión pluvial: 3

**c)** Debido a derrame por tormenta: 3

**C)** Método de análisis de estabilidad

$\mathbf{E_f}$ y $\mathbf{D_f}$ son los más recomendables (A), aunque pueden utilizarse los demás: $\mathbf{D_n}$ (B), $\mathbf{E_c}$ (D) y $\mathbf{P_e}$ (D).

**D)** Tipo de monitoreo recomendado

**P**, **R** y **S** son los más recomendables (A), e **I** convendría utilizarse (B)

**Ejemplo 2.** Un sitio seleccionado para construir una obra de lixiviación (pila) en terreno plano, zona seca y región asísmica, se clasifica en la categoría 27 (la menos conflictiva), lo cual corresponde a las siguientes características:

**Probable intensidad relativa de riesgo**

**A)** Geotécnico

**a)** Por capacidad de carga: 3

**b)** Por estabilidad de taludes: 1 (la menor)

**c)** Por asentamientos diferenciales: 1 (la menor)

**B)** Hidráulico

**a)** Debido a rotura de membranas: 1 (la menor)

**b)** Debido a erosión pluvial: 1 (la menor)

**c)** Debido a derrame por tormenta: 1 (la menor)

**C)** Método de análisis de estabilidad

$\mathbf{E_c}$ es el más recomendable (A), pero también puede aplicarse $\mathbf{E_f}$ (B). Los demás no se requieren ($\mathbf{P_e}$, $\mathbf{D_f}$ y $\mathbf{D_n}$)

**D)** Tipo de monitoreo recomendado

**R** es el más recomendable. Si se desea, puede utilizarse **P** (B). Los demás no se requieren (**I** y **S**).

**Ejemplo 3.** Un sitio seleccionado para construir una obra de lixiviación (pila) en terreno de lomerío, zona húmeda (lluviosa) y región penesísmica, se clasifica en la categoría 14 (caso intermedio), lo cual corresponde a las siguientes características:

**Probable intensidad relativa de riesgo**

**A)** Geotécnico

**a)** Por capacidad de carga: 3

**b)** Por estabilidad de taludes: 4

**c)** Por asentamientos diferenciales: 4

**B)** Hidráulico

**a)** Debido a rotura de membranas: 4

**b)** Debido a erosión pluvial: 2

**c)** Debido a derrame por tormenta: 2

**C)** Método de análisis de estabilidad

$\mathbf{E_f}$ y $\mathbf{D_f}$ son los más recomendables (A), aunque pueden utilizarse los demás: $\mathbf{E_c}$ (B), $\mathbf{P_e}$ (B) y $\mathbf{D_n}$ (B)

**D)** Tipo de monitoreo recomendado

**P** y **R** son los más recomendables (A) y convendrían utilizarse **S** (B) e **I** (C).