



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

# MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO HIDROMETALURGIA ECOPROCESOS

Programa Académico  
Plan de Estudios  
Fecha de elaboración  
Versión del Documento

IG.  
2021  
01/06/2025  
1



Dra. Martha Patricia Patiño Fierro  
**Rectora**

Mtra. Ana Lisette Valenzuela Molina  
**Encargada del Despacho de la Secretaría  
General Académica**

Mtro. José Antonio Romero Montaña  
**Secretario General Administrativo**

Lic. Jorge Omar Herrera Gutiérrez  
**Encargado de Despacho de Secretario  
General de Planeación**

## Tabla de contenido

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>IDENTIFICACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<i>Carga Horaria de la asignatura .....</i>	<i>6</i>
<i>Consignación del Documento .....</i>	<i>6</i>
<b>MATRIZ DE CORRESPONDENCIA .....</b>	<b>7</b>
<b>NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS .....</b>	<b>9</b>
<i>Reglamento general del laboratorio .....</i>	<i>9</i>
<i>Reglamento de uniforme.....</i>	<i>9</i>
<i>Uso adecuado del equipo y materiales.....</i>	<i>9</i>
<i>Manejo y disposición de residuos peligrosos.....</i>	<i>10</i>
<i>Procedimientos en caso de emergencia .....</i>	<i>10</i>
<i>En caso de lesiones por golpe o caída .....</i>	<i>10</i>
<b>RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA..</b>	<b>16</b>
<b>PRÁCTICAS.....</b>	<b>3</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS APLICABLES.....</b>	<b>9</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS APLICABLES.....</b>	<b>8</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS APLICABLES.....</b>	<b>6</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>NORMAS TÉCNICAS APLICABLES.....</b>	<b>7</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>3</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>8</b>

**NORMAS TÉCNICAS APLICABLES..... 9**

**ANEXOS ..... 3**

## INTRODUCCIÓN

Como parte de las herramientas esenciales para la formación académica de los estudiantes de la Universidad Estatal de Sonora, se definen manuales de práctica de laboratorio como elemento en el cual se define la estructura normativa de cada práctica y/o laboratorio, además de representar una guía para la aplicación práctica del conocimiento y el desarrollo de las competencias clave en su área de estudio. Su diseño se encuentra alineado con el modelo educativo institucional, el cual privilegia el aprendizaje basado en competencias, el aprendizaje activo y la conexión con escenarios reales.

Con el propósito de fortalecer la autonomía de los estudiantes, su pensamiento crítico y sus habilidades para la resolución de problemas, las prácticas de laboratorio integran estrategias didácticas como el aprendizaje basado en proyectos, el trabajo colaborativo, la experimentación guiada y el uso de tecnologías educativas. De esta manera, se promueve un proceso de enseñanza-aprendizaje dinámico, en el que los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos, sino que también desarrollan habilidades prácticas y reflexivas para su desempeño profesional.

Señalar en este apartado brevemente los siguientes elementos según corresponda:

- Propósito del manual
- Justificación de su uso en el programa académico
- Competencias a desarrollar
  - **Competencias blandas:** Habilidades transversales que se refuerzan en las prácticas, como la comunicación, el trabajo en equipo, el uso de tecnologías, etc.
  - **Competencias disciplinares:** Conocimientos específicos del área del laboratorio, incluyendo fundamentos teóricos y habilidades técnicas.
  - **Competencias profesionales:** Aplicación de los conocimientos adquiridos en escenarios reales o simulados, en concordancia con el perfil de egreso del programa.

## IDENTIFICACIÓN

<b>Nombre de la Asignatura</b>		Hidrometalurgia	
<b>Clave</b>	072CE012	<b>Créditos</b>	<b>6</b>
<b>Asignaturas Antecedentes</b>	052CP058, 052CP059	<b>Plan de Estudios</b>	<b>2021</b>

Área de Competencia	Competencia del curso
Evaluar la problemática y viabilidad económica de las operaciones de exploración, explotación y procesamiento de minerales, a fin de proponer, con iniciativa, sistemas o proyectos de mejora continua, para el desarrollo estratégico de las actividades de producción o cierre de minas, acordes a la legislación minera, laboral, ambiental y las normas de seguridad industrial.	Aplicar El conocimiento para definir de acuerdo a las características del mineral; granulometría, reactivos y tiempos adecuados para procesar un mineral por el método de lixiviación, definiendo en cada caso el método de precipitación de valores para obtener un metal de alta pureza e investigando las opciones de investigación en este campo.

### Carga Horaria de la asignatura

Horas Supervisadas			Horas Independientes	Total de Horas
Aula	Laboratorio	Plataforma		
<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>

### Consignación del Documento

<b>Unidad Académica</b>	Unidad Académica Hermosillo
<b>Fecha de elaboración</b>	01/06/2025
<b>Responsables del diseño</b>	Ricardo Recio Sánchez
<b>Validación Recepción</b>	Coordinación de Procesos Educativos

## MATRIZ DE CORRESPONDENCIA

Señalar la relación de cada práctica con las competencias del perfil de egreso

PRÁCTICA	PERFIL DE EGRESO
<p>Prueba de lixiviación dinámica con mineral de oro y plata</p>	<p>El egresado será capaz de diseñar, ejecutar y analizar pruebas de lixiviación dinámica en minerales auríferos y argentíferos, interpretando resultados para optimizar procesos metalúrgicos de extracción. Poseerá conocimientos sobre la química de lixiviación, control de variables operativas, y aplicará técnicas de laboratorio para evaluar la eficiencia y recuperación de metales preciosos en sistemas dinámicos. Será competente para integrar resultados experimentales con procesos industriales en la recuperación de oro y plata.</p>
<p>Prueba de columna con mineral de oro y plata</p>	<p>El egresado tendrá la capacidad para realizar pruebas de lixiviación en columna, evaluando el comportamiento hidrodinámico y cinético del mineral aurífero y argentífero. Comprenderá el diseño y operación de columnas de lixiviación, análisis de la percolación y recuperación metalúrgica. Podrá interpretar datos de solución y sólidos para mejorar procesos industriales y desarrollar estrategias de lixiviación más eficientes en la extracción de oro y plata.</p>
<p>Prueba de lixiviación de minerales conteniendo cobre</p>	<p>El egresado estará capacitado para llevar a cabo pruebas de lixiviación en minerales con contenido de cobre, comprendiendo las reacciones químicas implicadas y variables operativas que afectan la recuperación. Será capaz de aplicar técnicas experimentales para evaluar parámetros como el pH, concentración de reactivos y tiempo de lixiviación, así como interpretar resultados para optimizar procesos hidrometalúrgicos en la industria del cobre.</p>
<p>Prueba de determinación del porcentaje de sólidos</p>	<p>El egresado desarrollará habilidades para determinar con precisión el porcentaje de sólidos en suspensiones minerales, utilizando métodos gravimétricos y técnicas instrumentales. Será capaz de interpretar la importancia del contenido sólido en el control de procesos de separación, transporte y tratamiento de minerales, asegurando la calidad y eficiencia en operaciones metalúrgicas e industriales.</p>
<p>Prueba de sedimentación o asentamiento</p>	<p>El egresado podrá diseñar y ejecutar pruebas de sedimentación para analizar el comportamiento</p>

	<p>de partículas sólidas en suspensión, evaluando parámetros como velocidad de asentamiento y tamaño de partículas. Comprenderá la importancia de estos datos para el diseño y optimización de procesos de clarificación, espesamiento y manejo de relaves en la industria minera y metalúrgica.</p>
--	--

## **NORMAS DE SEGURIDAD Y BUENAS PRÁCTICAS**

### **Reglamento general del laboratorio**

1. La entrada al laboratorio deberá ser ordenada, conservándose este orden durante el desarrollo de la práctica.
2. El tiempo de tolerancia para llegar y entrar al laboratorio será fijado por el maestro o el encargado de laboratorio.
3. Se prohíbe comer, beber y fumar dentro del laboratorio.
4. Los útiles y pertenencias que no cumplan un contenido en la práctica, deberán ser colocados en el lugar indicado por el maestro (a) o encargado de laboratorio.
5. Se sancionará a las (s) persona (s) que, por sus actitudes perniciosas, pongan en riesgo o dañen la integridad física y moral de sus compañeros, o dañen instalaciones o equipos, basado en los reglamentos correspondientes internos de esta universidad y el presente reglamento.
6. Cada grupo deberá trabajar en el horario designado.
7. Ubicar donde se encuentran exactamente las instalaciones de seguridad del laboratorio: extinguidores, botiquín, etc.
8. No prender radios, ni usar audífonos, ni celular.
9. Si el maestro no está presente no se puede realizar la práctica a menos que exista una autorización
10. Cualquier accidente, por irresponsabilidad, en que resulten dañados material o equipo, estos deberán ser recuperados al laboratorio por los integrantes del equipo o por la persona responsable, en un plazo no mayor de 15 días. De no hacerlo, se le suspenderá el acceso al laboratorio en las prácticas posteriores.
11. A los alumnos (as) que se les sorprenda rayando las mesas o bancos, además de limpiarlas serán suspendidos de la práctica o prácticas a criterio del maestro (a) o encargado del laboratorio.
12. Al finalizar la práctica, el material, equipo y la mesa de trabajo serán entregados perfectamente limpios.
13. Solo las personas autorizadas podrán estar y hacer uso del laboratorio.
14. Personas ajenas al programa educativo de Ingeniero de Geociencias podrán hacer uso de las instalaciones, solo con la autorización del jefe de carrera.

### **Reglamento de uniforme**

1. Toda persona que trabaje en el laboratorio deberá traer puesta su bata de manga larga, zapato cerrado, así como lentes de seguridad y demás equipo de protección personal que se requiera de acuerdo con las prácticas a realizar.
2. No se recomienda traer el cabello largo y suelto, usar lentes de contacto, anillos, pulseras, dijes, aretes largos, etc.

### **Uso adecuado del equipo y materiales**

1. Es responsabilidad y obligación del alumno revisar su material al iniciar la práctica, así como su limpieza y buen cuidado, además de la preservación de la mesa y equipo instrumental.
2. No se debe prestar ningún material y/o equipo que pertenezca al laboratorio sin previa autorización del jefe de carrera.
3. Cuando algún equipo no funcione o presente alguna anomalía se deberá reportarlo inmediatamente al maestro (a) o encargado del laboratorio.

## Manejo y disposición de residuos peligrosos

1. Antes de usar un reactivo químico o una solución, lea primeramente la etiqueta para identificar el contenido; tome exactamente la cantidad necesaria y tape el frasco; no regrese jamás el exceso al frasco original.
2. No se deben oler sustancias directamente, ya que la mayoría son tóxicas, con la ayuda de la mano, abanique, para aproximar las gases o vapores al olfato.
3. Se debe etiquetar todos los frascos que contengan reactivos y sustancias, con el fin de evitar confusiones.
4. Cuando se trabaje con material inflamable: queda estrictamente prohibido el uso de mecheros o cualquier otro tipo de fuente de flama.
5. Jamás se verterá agua sobre ácido, lo correcto es verter el ácido sobre el agua.
6. Los reactivos químicos y materiales se deberán dejar en el lugar correspondiente al término de la práctica.
7. Al término de la práctica, cerciorarse que las llaves de gas y agua queden cerradas.

## Procedimientos en caso de emergencia

### En caso de lesiones por golpe o caída

- No muevas a la persona lesionada y sugiérele que no se mueva. Avisa al personal de la enfermería o al personal de seguridad. En la medida de lo posible, no dejes solo(a) al(a) lesionado(a)

### En caso de cortadura

#### Antes de...

- Asegúrate de utilizar el equipo de seguridad adecuado y cumple las reglas generales de seguridad.
- Revisa el material de cristalería o equipo a utilizar, evitando usar todo aquel que presente fracturas, esté despostillado, roto o tenga áreas dañadas que provoquen cortes en la piel.

#### Durante...

- Mantén la calma.
- Lava con agua el área afectada.
- Cubre la herida con gasa y, si es posible, haz compresión directa o indirecta y/o eleva la extremidad afectada para detener el sangrado.
- Si la herida (cortadura) es pequeña y se ha detenido el sangrado, lava el área afectada con agua y jabón antibacterial. Una vez detenido el sangrado, cúbrelo con gasa y cinta Micropore® o un vendaje.
- NO apliques torniquetes, ni trates de sacar trozos de vidrio u otro material involucrado.
- Avisa al personal de la enfermería o al personal de seguridad.

### En caso de quemaduras por productos químicos (aun en casos en que el producto reaccione con agua)

#### Antes de...

- Asegúrate de tener a la mano la información necesaria sobre los productos que se manejan en el laboratorio, es decir, las HOJAS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS

QUÍMICAS, las cuales deben contener, al menos, la siguiente información: propiedades físicas y químicas, toxicidad, acciones de primeros auxilios, acciones a realizar en caso de fuga y derrame, equipo de protección personal necesario durante su uso y la atención de emergencias. Si en ellas se indica el uso de algún antídoto o agente neutralizante para los reactivos que van a utilizarse, es necesario tenerlo preparado previamente a su uso y en un lugar de fácil acceso.

- Revisa que el equipo de atención de emergencias se encuentre funcionando correctamente (lavajos, regadera de emergencia, polvo para control de derrame, almohadillas absorbentes, entre otros).
- Desde tu entrada al laboratorio usa tu equipo de seguridad personal completo (lentes de seguridad, bata, guantes). Sustituye cualquiera de éstos que esté dañado.

#### Durante...

- Tu seguridad es lo más importante, NO INTENTES ACTOS HEROICOS.
- Si el reactivo cayó en la cara, retira los lentes de seguridad y lava inmediatamente en el lavajos o al chorro del agua por lo menos durante 20 minutos, verificando que se tengan los párpados abiertos.
- Si el producto cayó en la piel, retira el exceso de producto con un trozo de papel o tela absorbente e inmediatamente lava el área afectada al chorro del agua, por lo menos durante 20 minutos. Recuerda que se debe considerar al papel y tela contaminada como residuo peligroso y no arrojarlos a la basura municipal.
- Si el producto cayó en buena parte del cuerpo y no puedes lavar la zona afectada en la tarja, retira la ropa contaminada y utiliza la regadera de emergencia para eliminar la mayor cantidad de producto posible, al menos durante 20 minutos.
- Si es inhalado, transporta a la víctima a un lugar bien ventilado y solicita inmediatamente atención médica especializada.
- Si es ingerido, solicita inmediatamente atención médica especializada.
- Si existe un antídoto, como se mencionó arriba, debe tenerse preparado antes de utilizar el reactivo y usarlo como se menciona en la HOJA DE SEGURIDAD de la sustancia química.
- En todos los casos, da aviso inmediato al profesor responsable del laboratorio o área de trabajo, a la Coordinación de Protección Civil y al personal de seguridad. NOTA: es importante que en todos los casos se identifique el producto que provocó el incidente. Si es desconocido, asume un riesgo extremo.

#### Después de...

- Hacer revisar a la o las personas lesionadas por un médico especialista según el área afectada (dermatólogo, oftalmólogo, otorrinolaringólogo, gastroenterólogo).
- Reportar por escrito, dentro de un período máximo de 48 horas, el accidente a la Coordinación de Protección Civil.

### En caso de quemaduras por temperaturas extremas

Se refieren a aquellas quemaduras generadas por fuego y materiales calientes o muy fríos.

#### Antes de...

- Contar en el laboratorio con el equipo de seguridad necesario, de acuerdo con la actividad que se realice. Revisar su funcionamiento antes de su uso y tomar capacitación específica sobre su correcto manejo.

#### Durante...

- Mantén la calma.

- Lava con agua a temperatura ambiente el área afectada por lo menos durante 15 minutos.
- Cubre el área con una gasa.
- Avisa al personal de la enfermería, a la Coordinación de Protección Civil de la Facultad y/o al personal de seguridad.
- En caso de que esté involucrada una flama y se prenda la ropa de alguna persona, evita que corra, cúbreala con una manta contra incendios o alguna bata.
- En todos los casos, da aviso al profesor responsable del laboratorio o área de trabajo y a la Coordinación de Protección Civil.

#### Después de...

- Solicita la revisión de la o las personas lesionadas por un médico especialista, por ejemplo, un dermatólogo.
- Solicita la colaboración de expertos externos para realizar un análisis del accidente para eliminar las posibles causas y evitar que vuelva a ocurrir.

#### En caso de FUGAS

Por FUGA se entiende cualquier emisión no controlada de gas proveniente de recipientes inadecuados, dañados o de cilindros a presión.

#### Antes de...

- Revisa que exista en el laboratorio el equipo de seguridad necesario, de acuerdo con la actividad que realizarás.
- Antes de iniciar tu trabajo, revisa el correcto funcionamiento del equipo de seguridad y toma capacitación específica sobre su correcto manejo. En caso necesario, solicita su reparación o mantenimiento.
- Asegúrate de tener a la mano la información necesaria sobre los productos que se manejan en el laboratorio, es decir, las HOJAS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS QUÍMICAS, las cuales deben contener, al menos, la siguiente información: propiedades físicas y químicas, toxicidad, primeros auxilios, acciones en caso de fugas y derrames, y equipo de protección personal necesario durante su uso y la atención de emergencias.
- En su caso, solicita el mantenimiento preventivo o correctivo a los contenedores de sustancias.
- Ejecuta y participa en simulacros de evacuación y de atención de emergencias de manera frecuente.

#### Durante...

- Mantén la calma.
- Tu seguridad es lo más importante, NO INTENTES ACTOS HEROICOS.
- Si la fuga proviene de un contenedor pequeño (frasco), transpórtalo utilizando el equipo de seguridad adecuado, a una campana extractora de gases o a un lugar seguro y solicita de inmediato ayuda al profesor responsable del laboratorio o a la Coordinación de Protección Civil.
- Si la fuga proviene de un contenedor grande o de un cilindro a presión, apaga mecheros y aparatos eléctricos que estén operando, evacúa el área y da aviso al profesor responsable del laboratorio o área de trabajo, al personal de seguridad y a la Coordinación de Protección Civil.

#### Después de...

- Sigue las instrucciones del personal de seguridad y/o brigadistas para regresar al laboratorio o área de trabajo cuando el jefe del edificio o la persona a cargo de la atención de la emergencia dé la autorización para ello.

## En caso de DERRAME

Por DERRAME se entiende una emisión no controlada de líquidos o sólidos por estar en recipientes inadecuados, mal almacenados, dañados o por rompimiento accidental de ellos.

### Antes de...

- Asegúrate de tener a la mano la información necesaria sobre los productos que se manejan en el laboratorio, es decir, las HOJAS DE SEGURIDAD DE SUSTANCIAS QUÍMICAS, las cuales deben contener, al menos, la siguiente información: propiedades físicas y químicas, toxicidad, primeros auxilios, acciones en caso de fugas y derrames, y equipo de protección personal necesario durante su uso y la atención de emergencias. Si en ellas se indica el uso de algún material de contención especial o un agente neutralizante para los reactivos que van a utilizarse, es necesario tenerlo preparado previamente a su uso y en un lugar de fácil acceso.
- Asegúrate de tener en un lugar de acceso inmediato recipientes con polvo químico para contención de derrames, así como un bote plástico de boca ancha con tapa para contener el material contaminado (arena para derrame, almohadillas de absorción u otro material usado para contener el derrame).

### Durante...

- Mantén la calma.
- Tu seguridad es lo más importante, NO INTENTES ACTOS HEROICOS.
- Si el material es fácilmente volátil, se observan vapores o se perciben olores, apaga el mechero, equipo eléctrico o cualquier fuente de ignición que se esté usando, evacua el área y da aviso al personal de seguridad y a la Coordinación de Protección Civil.
- Si no observas vapores y/o no se perciben olores, delimita (rodea) el área y cubre el material derramado con polvo químico para derrames.
- Avisa de manera inmediata al profesor responsable del laboratorio o área de trabajo, personal de seguridad y a la Coordinación de Protección Civil, indicando el tipo de material derramado y si requieres apoyo para la contención.

### Después de...

- Sigue las instrucciones de la Coordinación de Protección Civil para limpiar y descontaminar el lugar

## En caso de INCENDIO (FUEGO)

- **FUEGO INCIPIENTE:** es el fuego en su etapa inicial que puede ser controlado o extinguido, mediante extintores portátiles, sistemas fijos contra incendio u otros medios de supresión convencionales, sin la necesidad de utilizar ropa y equipo de protección básica de Bombero.
- **INCENDIO:** es el fuego que se desarrolla sin control en tiempo y espacio. (Referencia: NOM-002-STPS-2010).

### Antes de...

- Conoce la localización de los extintores, rutas de evacuación y salidas de emergencia.
- Participa en los cursos de capacitación sobre manejo y uso de extintores ofrecidos por la Facultad.

### Durante...

- Mantén la calma y avisa al responsable del laboratorio, al personal de vigilancia o a la Coordinación de Protección Civil.

- En el caso de fuego incipiente, utiliza los extintores SÓLO si conoces su funcionamiento.
- Si el fuego no se controla o es un incendio, evacua el área y da aviso a la Central de Atención de Emergencias o a los Bomberos.

Después de...

- Espera las instrucciones del personal de seguridad y/o brigadas

## En caso de SISMO

Antes de...

- **Identifica y localiza:**
  - Lugares más seguros del sitio donde te encuentras (zonas de menor riesgo).
  - Rutas de evacuación principales y alternas, salidas de emergencia y puntos de reunión.
  - Extintores, botiquines, interruptores de corriente eléctrica y las llaves de agua y gas.
  - Asegura todos los objetos que puedan caerse o desplazarse (estantes, equipos, cilindros de gas, muebles, cajas, recipientes).

Durante...

- Mantén la calma.
- Retírate de las ventanas, lámparas, anaqueles, fuentes de calor, equipo o maquinaria que no esté debidamente anclado y que pueda caer.
- Las personas ubicadas en planta baja, primer piso, sótano y cerca de las salidas deben dirigirse hacia el punto de reunión más cercano.
- Las personas ubicadas en el segundo piso o superiores o en lugares de difícil acceso deben replegarse en zonas de menor riesgo (debidamente señalizadas), hasta que el sismo termine. (Un lugar de difícil acceso es aquel en donde tardas más de un minuto y medio en desplazarte hacia el punto de reunión más cercano).
- Sigue las instrucciones del personal de seguridad y/o brigadistas durante el sismo.
- Si te encuentras en el exterior, aléjate de ventanas, cables de luz y de alta tensión, y dirígete al punto de reunión preestablecido más cercano.

## QUÉ HACER EN: SISMOS



- Las personas replegadas en las zonas de menor riesgo, una vez que ha transcurrido el sismo, deben evacuar el área y desplazarse hacia el punto de reunión más cercano, siguiendo las instrucciones del personal de seguridad y/o brigadistas. Recuerda no correr,

no gritar y no empujar.

- Usa las escaleras para salir del sitio donde te encuentras al punto de reunión. NO utilices elevadores.
- Dirígete a las zonas de seguridad y espera a que el personal de seguridad y/o brigadistas dé indicaciones.
- Si en el momento del sismo o durante el desalojo del edificio observas que se produjeron derrames, fugas, fuegos incipientes, incendios o hay personas lesionadas, comunícalo de inmediato al personal de seguridad, brigadistas o a la Coordinación de Protección Civil. Tu seguridad es lo más importante, **NO INTENTES ACTOS HEROICOS**.
- Una vez que ha pasado el sismo, la persona responsable del inmueble deberá efectuar la revisión correspondiente al mismo y descartar daños o problemas visibles que impliquen algún riesgo para la comunidad. En caso necesario, se debe solicitar apoyo de personal especialista en el control de daños.
- La persona responsable del inmueble (jefe de edificio) determinará, una vez que concluya el recorrido, si el inmueble está en condiciones para que la comunidad se reintegre a sus actividades o si éstas son suspendidas hasta nuevo aviso.

## RELACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO POR ELEMENTO DE COMPETENCIA

<b>Elemento de Competencia al que pertenece la práctica</b>	<b>Indicar EC (I, II o III)</b>
	Insertar redacción del EC correspondiente de acuerdo con lo señalado en la SD.

PRÁCTICA	NOMBRE	COMPETENCIA
Práctica No. 1	Prueba de lixiviación dinámica con mineral de oro y plata	Ejecutar la prueba de lixiviación dinámica para evaluar la recuperación de metales preciosos, utilizando soluciones lixiviantes bajo condiciones controladas, en el tratamiento de minerales auríferos y argentíferos, demostrando responsabilidad y atención al detalle.
Práctica No. 2	Prueba de columna con mineral de oro y plata	Aplicar la prueba de lixiviación en columna para determinar la eficiencia del proceso de recuperación de oro y plata, siguiendo procedimientos establecidos, en condiciones simuladas de operación industrial, manifestando pensamiento crítico y trabajo en equipo.
Práctica No. 3	Prueba de lixiviación de minerales conteniendo cobre	Realizar la prueba de lixiviación para extraer cobre de minerales sulfurados u oxidados, empleando agentes lixiviantes adecuados y controlando variables del proceso, en un entorno de laboratorio metalúrgico, fortaleciendo la capacidad de análisis y adaptabilidad.
Practica No. 4	Prueba de determinación del porcentaje de solidos	Determinar el porcentaje de sólidos para caracterizar adecuadamente pulpas minerales, siguiendo normas técnicas y usando instrumentos de laboratorio, durante el desarrollo de operaciones metalúrgicas, mostrando precisión y compromiso con la calidad.
Practica No. 5	Prueba de sedimentación o asentamiento	Evaluar la velocidad de sedimentación para optimizar procesos de separación sólido-líquido, bajo condiciones específicas de laboratorio y con materiales preparados, en el estudio del comportamiento de pulpas minerales, desarrollando habilidades de observación y toma de decisiones.



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

# PRÁCTICAS

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	Prueba de lixiviación dinámica con mineral de oro y plata
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Ejecutar la prueba de lixiviación dinámica para evaluar la recuperación de metales preciosos, utilizando soluciones lixiviantes bajo condiciones controladas, en el tratamiento de minerales auríferos y argentíferos, demostrando responsabilidad y atención al detalle.

### FUNDAMENTO TEÓRICO

La lixiviación con cianuro es un proceso hidrometalúrgico utilizado para extraer oro y plata de minerales triturados mediante la disolución selectiva en una solución de cianuro de sodio, en presencia de oxígeno y bajo condiciones alcalinas controladas ( $\text{pH} \geq 10.5$ ). La cal se emplea para mantener la alcalinidad y evitar la formación de gases tóxicos.

La eficiencia del proceso depende del tamaño de partícula, el tiempo de molienda, la concentración de cianuro, el pH, el porcentaje de sólidos y una adecuada agitación. Finalmente, se realiza un balance metalúrgico para evaluar la recuperación de metales y el consumo de reactivos.

### MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS

**EPP:**

- Guantes
- Gafas de seguridad
- Bata de laboratorio

**Determinación de molienda**

- 1030 gr de mineral
- 660 ml de agua
- Criba 200

**Determinación de consumo de cal**

- 500 gr de mineral
- 10 gr de cal
- 500 ml de agua con pH conocido
- pH-metro
- Vaso de precipitado

**Experimentación**

- Cal
- 1030 gr de mineral
- 660 ml de solución de cianuro de sodio (1000 ppm)
- Agua
- Garrafón 20 litros.
- pH-metro
- Filtros

### PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

**1. Determinación de molienda**

- 1.1. Tomar aproximadamente **25 kg del mineral** a trabajar.
- 1.2. Triturar el material hasta obtener un tamaño de **-10 mallas**, requerido para alimentar el

molino de laboratorio.

- 1.3. Preparar **cargas individuales de 1030 g** de mineral, compensando el contenido de humedad y **homogeneizando adecuadamente**.
- 1.4. Alimentar el molino con una carga de 1030 g de mineral y **agregar 660 ml de agua**.
- 1.5. Moler el mineral durante distintos intervalos de tiempo.
- 1.6. Deslamar el producto molido y **determinar el porcentaje de mineral que pasa a –200 mallas**, con el fin de evaluar la eficiencia de molienda.

## 2. Determinación del consumo de cal

- 2.1. Tomar una muestra representativa de **500 g del mineral** y colocarla en un vaso de precipitados.
- 2.2. Agregar **500 ml de agua con pH conocido**.
- 2.3. Agitar la mezcla durante **2 minutos** y **medir el pH natural del mineral**.
- 2.4. Estimar el requerimiento de cal, que suele variar entre **5 a 7 g** por cada carga de 1030 g (equivalente a 5–7 kg/ton).

## 3. Experimentación

- 3.1. Mezclar las cargas de 1030 g de mineral a –10 mallas con **5 g de cal**.
- 3.2. Alimentar el molino con la mezcla y agregar **660 ml de solución de cianuro de sodio** (1000 ppm), asegurando un **pH mínimo de 10.5**.
- ⚠ **Importante:** Ajustar primero el pH de la solución **antes** de agregar el cianuro.
- 3.3. Moler las cargas a tres tiempos distintos, con el objetivo de obtener 60%, 65% y 70% a –200 mallas.
- 3.4. Descargar el molino con agua medida, sin exceder los **1500 ml totales**, para mantener un **40% de sólidos**.
- 3.5. Transferir la pulpa a un **garrafón de 20 L** (similar a los usados para agua purificada).
- 3.6. Colocar el garrafón en un banco de rodillos y agitar a **30 rpm durante 72 horas**.
- 3.7. **Tomar muestras de solución cada 24 horas** (24, 48 y 72 h), deteniendo la agitación y dejando sedimentar la pulpa antes de extraer ~50 ml de solución clara.
- 3.8. Medir en cada muestra: **pH, concentración de cianuro libre y contenido de oro y plata**.
- 3.9. Registrar cualquier ajuste de pH o cianuro durante la prueba.
- 3.10. Calcular el **consumo de cianuro** por diferencia entre el total agregado y el remanente al final de la prueba.
- 3.11. **Filtrar la pulpa al finalizar**, lavar el sólido varias veces, y **secar completamente el residuo**.
- 3.12. Homogeneizar el sólido seco y tomar una muestra representativa para análisis.
- 3.13. Calcular el **balance de materiales y recuperación de valores** según contenido en solución y residuo.

## 4. Análisis y cálculo de resultados

- 4.1. Una vez seca la muestra sólida, **homogeneizar el material** y tomar una muestra representativa para enviar a análisis.
- 4.2. **Conocer el peso de la solución y su ley de oro y plata** permite calcular su contenido diario:

$$\text{contenido} = \text{peso de la solución} \times \text{ley}$$

- 4.3. **Sumar los contenidos diarios** y añadir el contenido del residuo sólido para obtener el contenido total.
- 4.4. **Calcular la cabeza teórica** dividiendo el contenido total entre el peso inicial de la muestra.

4.5. **Determinar la distribución de valores** mediante la fórmula:

$$distribucion = \left( \frac{contenido\ parcial}{contenido\ total} \right) \times 100$$

Aplicar esta fórmula tanto para los valores en solución como para el residuo.

4.6. **La distribución máxima** representa la eficiencia del proceso y suele observarse al cabo de **72 horas**.

### RESULTADOS ESPERADOS

La presente práctica tiene como objetivo evaluar la recuperación de oro y plata mediante lixiviación cianurada, controlando variables como el pH, concentración de cianuro y tiempo de contacto. Se aplican principios de química de soluciones, cinética de reacción y balance metalúrgico.

Se espera obtener como resultado la cantidad de valores metálicos disueltos en solución, expresada en términos de recuperación porcentual, así como el consumo específico de reactivos (cal y cianuro) en kilos o libras por tonelada. Estos datos permitirán caracterizar el comportamiento del mineral frente al proceso y su eficiencia en condiciones de laboratorio.

Durante el procedimiento, los estudiantes observarán el cambio en la concentración de valores metálicos a lo largo del tiempo, registrarán variables físico-químicas como el pH y el contenido de cianuro libre, y aplicarán cálculos para determinar la recuperación y distribución diaria de los metales.

Esta actividad refuerza competencias clave en el control de procesos metalúrgicos, el análisis de datos experimentales y el manejo responsable de reactivos peligrosos, promoviendo la formación técnica y científica del estudiante en el ámbito de la ingeniería metalúrgica.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los datos obtenidos en esta práctica permite identificar el comportamiento del mineral frente al proceso de lixiviación cianurada. Se evalúa la eficiencia en la recuperación de oro y plata a lo largo del tiempo, observando si existe un incremento progresivo hasta alcanzar una recuperación máxima. También se analiza la estabilidad del pH y la concentración de cianuro libre, ya que son parámetros clave para asegurar un ambiente alcalino adecuado y evitar la degradación del reactivo. A partir de los resultados, se puede determinar qué condiciones operativas (tiempo de molienda, dosis de cal y cianuro, porcentaje de sólidos) ofrecieron mejores resultados. El balance metalúrgico permite cuantificar las pérdidas, la recuperación total y la distribución diaria de valores, brindando información crítica para la optimización del proceso en condiciones industriales.

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Esta práctica permitió aplicar principios fundamentales de la hidrometalurgia, como la lixiviación alcalina, el equilibrio químico y el control de variables críticas en la extracción de metales. Los resultados obtenidos ofrecen una visión concreta de cómo se evalúa la eficiencia de un proceso industrial en condiciones controladas. Además, fortalece habilidades analíticas y operativas esenciales en el ámbito profesional, donde la toma de decisiones debe basarse en datos técnicos precisos y en el cumplimiento de estándares de seguridad y calidad.

**ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS**

Problemas o ejercicios adicionales

**EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE**

Criterios de evaluación	<b>Criterios de evaluación de la actividad:</b> <a href="#">Rúbrica de práctica de laboratorio.</a> <a href="#">Rúbrica de Reporte de práctica de laboratorio.</a>
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf</a>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

**Universidad Estatal de Sonora. (2024).** *Secuencia didáctica del curso Hidrometalurgia* (Elab. R. Recio Sánchez; Rev. G. F. García Albelaís). Coordinación de Procesos Educativos.

**Recio Sánchez, R. (2006).** *Manual de pruebas metalúrgicas* (Carrera de Ingeniero en Geociencias, periodo febrero–junio 2006). Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.

**Wills, B. A., & Finch, J. A. (2016).** *Wills' Mineral Processing Technology* (8th ed.). Butterworth-Heinemann.

**Habashi, F. (1999).** *Handbook of Extractive Metallurgy*. Wiley-VCH.

**Fuerstenau, M. C., & Pradip. (2005).** *Froth Flotation: A Century of Innovation*. SME.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

### Normas técnicas nacionales e internacionales:

- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2017). *UNE-EN ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental - Requisitos con orientación para su uso.*
- Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC). (2019). *NOM-005-SEMARNAT-1996. Protección ambiental- Residuos peligrosos- Características, clasificación y especificaciones de manejo.*
- International Organization for Standardization. (2021). *ISO 5667-3: Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples.*

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	Prueba de columna con mineral de oro y plata
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Aplicar la prueba de lixiviación en columna para determinar la eficiencia del proceso de recuperación de oro y plata, siguiendo procedimientos establecidos, en condiciones simuladas de operación industrial, manifestando pensamiento crítico y trabajo en equipo.

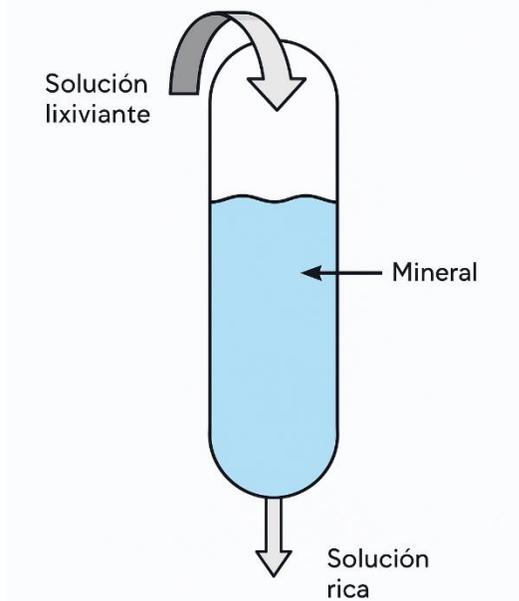
FUNDAMENTO TÉCNICO
<p>La prueba de lixiviación en columna es una técnica metalúrgica aplicada al estudio del comportamiento de minerales auríferos y argentíferos frente a soluciones lixiviantes, comúnmente a base de cianuro. Este método simula las condiciones operativas de los sistemas de lixiviación industrial, permitiendo evaluar la eficiencia de extracción de metales valiosos, la cinética de disolución, el consumo de reactivos y la recuperación metálica en función del tamaño de partícula y otros parámetros. Su implementación es esencial para el diseño, optimización y viabilidad de procesos hidrometalúrgicos, además de promover una toma de decisiones fundamentada en datos experimentales replicables y ambientalmente controlados.</p>

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
<p><b>EPP:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guantes</li> <li>- Gafas de seguridad</li> <li>- Bata de laboratorio</li> </ul> <p><b>Prueba de columna</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Muestra representativa del mineral</li> <li>- Columna cuadrada o circular</li> <li>- Cal</li> <li>- Solución lixivante de cianuro de sodio al 1%</li> <li>- Agua</li> </ul>

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
<p><b>Prueba de columna con mineral de oro y plata</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Selección del método y del tamaño de partícula:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Se recomienda aplicar esta prueba cuando una evaluación técnica previa indique que la lixiviación en columna es adecuada para el mineral.</li> <li>1.2. Definir el tamaño de partícula con el cual se realizará la prueba. Puede ser el tamaño ROM (run of mine) o un tamaño previamente triturado.</li> <li>1.3. Se sugiere realizar pruebas <b>comparativas</b> a diferentes tamaños para determinar la mejor recuperación con el menor consumo de energía.</li> </ol> </li> <li><b>2. Preparación de la muestra:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Tomar una muestra representativa del mineral previamente homogeneizado, con un peso de entre 20 y 300 kg dependiendo del tamaño de partícula.</li> <li>2.2. Cuartear la muestra para obtener una porción destinada al análisis de cabeza (ensaye inicial del contenido metálico).</li> </ol> </li> <li><b>3. Preparación de la columna de lixiviación:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Asegurar que la columna tenga un diámetro mínimo de 6 veces el tamaño de la partícula</li> </ol> </li> </ol>

mayor.

- 3.2. El material de la columna puede ser acrílico, polietileno, metal, caucho u otro material resistente a soluciones químicas.
- 3.3. La columna debe estar abierta por la parte superior y tener un sistema de drenaje en la parte inferior para recolectar la solución rica.
- 3.4. La forma puede ser cilíndrica o prismática, con una longitud de entre 1 y 10 metros.



*Ilustración 1 Ejemplificación de una columna*

#### 4. Pretratamiento del mineral:

- 4.1. Mezclar el mineral con cal, en una dosis de 5 a 7 kg/ton, para ajustar el pH y prevenir la formación de compuestos tóxicos como el ácido cianhídrico.

#### 5. Carga de la columna:

- 5.1. Cargar el mineral en la columna, comenzando con las partículas de mayor tamaño (unos 10 cm de altura) para facilitar el drenaje.

#### 6. Cálculo del flujo de riego:

- 6.1. Calcular el flujo de solución lixivante según la relación de 0.0025–0.005 gal/min/pie<sup>2</sup>.
- 6.2. Convertir a ml/min en función del área de la columna.

#### 7. Preparación y aplicación de la solución lixivante:

- 7.1. Preparar una solución de cianuro de sodio (NaCN) al 0.1% (1000 ppm) con un pH mayor a 10.5.
- 7.2. Iniciar el riego continuo del mineral, recolectando la solución rica por la parte inferior.
- 7.3. Registrar el volumen recolectado cada 24 horas.
- 7.4. Tomar una muestra representativa para análisis de oro, plata, cianuro libre y pH.

#### 8. Monitoreo y ajustes:

- 8.1. Analizar diariamente las muestras para ajustar la concentración de NaCN y pH según el consumo observado.
- 8.2. Continuar el riego hasta que el contenido de oro en la solución rica esté entre 0.02 y 0.05 ppm.

#### 9. Lavado con agua:

- 9.1. Lavar la columna con agua durante 1 o 2 días para recuperar los valores residuales atrapados en la humedad.

9.2. Medir el volumen drenado y tomar muestras para su análisis.

**10. Secado y análisis del residuo:**

10.1. Dejar escurrir la columna durante un día sin riego.

10.2. Descargar la columna, cuartear el material, secar la muestra representativa y preparar para análisis de contenido metálico y granulometría.

**11. Cálculos finales:**

11.1. Calcular la cabeza teórica a partir de la suma de los contenidos diarios y del residuo seco.

11.2. Determinar la recuperación diaria y total.

11.3. Calcular el consumo de cianuro restando el cianuro remanente en solución de lo agregado, y dividiendo entre el peso de muestra.

### RESULTADOS ESPERADOS

Se espera obtener información cuantitativa sobre la recuperación de oro y plata en función del tiempo, el tamaño de partícula del mineral, el flujo de solución y la concentración de cianuro. Los resultados deben mostrar la eficiencia del proceso de lixiviación en diferentes condiciones operativas, determinando el porcentaje de recuperación total, el consumo específico de reactivos y los valores residuales en el mineral tratado. Además, se busca identificar el tiempo óptimo de riego y enjuague para maximizar la recuperación sin incurrir en excesivo gasto de recursos.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante la ejecución de la prueba, los análisis diarios de la solución rica permiten identificar la tendencia de recuperación metálica. Una concentración inicial alta de oro y plata indica una buena disponibilidad de los valores metálicos y una reacción eficiente con el cianuro. A medida que los días avanzan, una disminución progresiva en los valores extraídos señala que se ha alcanzado un punto cercano al equilibrio o agotamiento del mineral lixiviable.

Comparando los datos obtenidos entre distintos tamaños de partícula, es posible establecer una relación directa entre el grado de liberación del metal y la eficiencia del proceso. Asimismo, el análisis del consumo de cianuro permite ajustar la dosificación para evitar excesos o deficiencias, optimizando costos y seguridad operativa. Finalmente, los análisis del residuo sólido permiten evaluar la eficiencia global del proceso y estimar las pérdidas metálicas.

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La práctica permite comprobar de forma experimental los principios teóricos de la lixiviación por percolación, como el contacto sólido-líquido, la difusión a través de la matriz mineral, y las reacciones químicas de disolución del oro y la plata en presencia de cianuro y pH controlado. La comparación entre los datos reales y las predicciones teóricas fortalece la comprensión del equilibrio químico, la cinética de reacción y el comportamiento hidrodinámico de sistemas porosos.

En el ámbito profesional, esta prueba es fundamental en la fase de diseño y evaluación técnica de procesos metalúrgicos en minería, ya que permite definir parámetros de operación y predecir el desempeño a escala industrial. El conocimiento adquirido es directamente aplicable en plantas de beneficio, laboratorios metalúrgicos y en estudios de factibilidad, fomentando competencias en análisis de datos, optimización de procesos y toma de decisiones técnicas basadas en evidencia.

**ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS**

Problemas o ejercicios adicionales

**EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE**

Criterios de evaluación	de	<b>Criterios de evaluación de la actividad:</b> <a href="#">Rúbrica de práctica de laboratorio.</a> <a href="#">Rúbrica de Reporte de práctica de laboratorio.</a>
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño		<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	de	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf</a>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

**Universidad Estatal de Sonora. (2024).** *Secuencia didáctica del curso Hidrometalurgia* (Elab. R. Recio Sánchez; Rev. G. F. García Albelaís). Coordinación de Procesos Educativos.

**Recio Sánchez, R. (2006).** *Manual de pruebas metalúrgicas* (Carrera de Ingeniero en Geociencias, periodo febrero–junio 2006). Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.

**Bautista, R. G. (1998).** *Fundamentos de la hidrometalurgia*. México: Limusa.

**Marsden, J., & House, C. (2006).** *The Chemistry of Gold Extraction* (2nd ed.). Englewood, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

**Habashi, F. (1993).** *A Textbook of Hydrometallurgy*. Quebec, Canada: Métallurgie Extractive Québec.

**Cámara Minera de México (CAMIMEX). (2022).** *Informe Anual 2022*. <https://www.camimex.org.mx>

**Sociedad Iberoamericana de Metalurgia Extractiva. (2015).** *Manual de pruebas metalúrgicas aplicadas a minerales auríferos*. Lima: SIMEX.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

### NOM – Normas Oficiales Mexicanas

- **NOM-157-SEMARNAT-2009** – Que establece los requisitos para el manejo de soluciones cianuradas y jales en procesos de beneficio de minerales metálicos.
- **NOM-052-SEMARNAT-2005** – Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y manejo de residuos peligrosos.
- **NOM-010-STPS-2014** – Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen sustancias químicas capaces de generar contaminantes del medio ambiente laboral.
- **NOM-026-STPS-2008** – Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

### ISO – International Organization for Standardization

- **ISO 14001:2015** – *Environmental management systems – Requirements with guidance for use.* Aplicable para la gestión ambiental del proceso.
- **ISO 17025:2017** – *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.* Aplica a los laboratorios que realicen ensayos analíticos de oro y plata.
- **ISO 11426:2021** – *Jewellery – Determination of gold content by fire assay (cupellation method).* Para la determinación de oro en laboratorio

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	Prueba de lixiviación de minerales conteniendo cobre
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Realizar la prueba de lixiviación para extraer cobre de minerales sulfurados u oxidados, empleando agentes lixiviantes adecuados y controlando variables del proceso, en un entorno de laboratorio metalúrgico, fortaleciendo la capacidad de análisis y adaptabilidad.

FUNDAMENTO TEÓRICO
<p>a lixiviación de minerales que contienen cobre es un proceso hidrometalúrgico que permite disolver selectivamente el cobre presente en minerales oxidados, mediante el uso de soluciones ácidas, principalmente ácido sulfúrico. Este proceso se basa en reacciones de oxidación-reducción que favorecen la disolución del cobre en forma iónica (<math>\text{Cu}^{2+}</math>), facilitando su recuperación posterior. Se pueden emplear dos metodologías: dinámica, donde la solución circula continuamente por el lecho de mineral, y estática, donde se deja en reposo durante un tiempo determinado. La eficiencia del proceso depende de factores como la granulometría del mineral, la concentración del ácido y el tiempo de contacto, siendo fundamental controlar el consumo de ácido para determinar la viabilidad económica y técnica del tratamiento.</p>

MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS
<p><b>EPP:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guantes</li> <li>- Gafas de seguridad</li> <li>- Bata de laboratorio</li> </ul> <p><b>Lixiviación de minerales conteniendo cobre</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineral</li> <li>- Solución diluida de ácido sulfúrico entre 10 y 20 gr por litro</li> </ul>

PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA
<p><b>Lixiviación de Minerales Conteniendo Cobre</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Preparación del mineral:</b> Seleccionar y pesar adecuadamente la muestra de mineral que contiene cobre. No se debe mezclar con cal, ya que esta neutralizaría la solución lixivante.</li> <li>2. <b>Preparación de la solución lixivante:</b> Elaborar una solución diluida de ácido sulfúrico con una concentración de entre 10 a 20 gramos por litro, según lo requerido por el diseño de la prueba.</li> <li>3. <b>Aplicación del proceso de lixiviación:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 En la prueba <b>dinámica</b>, la solución ácida se hace circular continuamente a través del lecho de mineral.</li> <li>3.2 En la prueba <b>estática</b>, la solución se aplica una sola vez y se deja en contacto con el mineral durante un periodo prolongado.</li> </ol> </li> <li>4. <b>Recolección de la solución rica:</b> Una vez completada la lixiviación, recolectar la solución que contiene el cobre disuelto (solución rica) para su análisis.</li> <li>5. <b>Determinación del consumo de ácido:</b> Medir la concentración de ácido sulfúrico (g/L) en la solución lixivante inicial y en la solución rica. La diferencia entre ambas permite calcular la cantidad de ácido consumido y, por ende, los kilogramos de ácido necesarios por tonelada de mineral tratado.</li> </ol>

### RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que, al concluir la práctica de lixiviación de minerales conteniendo cobre, los estudiantes obtengan una solución rica en cobre disuelto como resultado del contacto del mineral con la solución de ácido sulfúrico. Asimismo, se prevé la identificación del consumo real de ácido por tonelada de mineral tratado, permitiendo evaluar la eficiencia del proceso en términos técnicos y económicos. Esta práctica busca reforzar la comprensión de los principios de la hidrometalurgia y su aplicación en escenarios reales de la industria minera.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos permiten observar la eficiencia del proceso lixivante en función del tiempo de contacto y el tipo de prueba realizada. En la prueba dinámica se espera una mayor velocidad de disolución del cobre, mientras que en la prueba estática se puede observar un consumo más lento, pero sostenido del ácido. El análisis de la concentración de ácido residual en la solución rica respecto a la solución inicial permite determinar el consumo real de ácido, lo cual es clave para estimar los costos de operación. Asimismo, se puede evaluar el rendimiento del proceso mediante la concentración de cobre disuelto.

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

Esta práctica permite comprender y aplicar los fundamentos teóricos de la lixiviación como técnica esencial en la metalurgia extractiva del cobre. Los conocimientos adquiridos son directamente aplicables en operaciones mineras, particularmente en procesos de recuperación de cobre a nivel industrial, como en pilas de lixiviación o tanques agitados. La capacidad de analizar parámetros como el consumo de reactivos, tipo de mineral y eficiencia del proceso proporciona una base sólida para la toma de decisiones técnicas en el ámbito profesional. Además, fomenta habilidades analíticas, pensamiento crítico y la comprensión de la interacción entre mineralogía y química aplicada.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Problemas o ejercicios adicionales

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	de	<b>Criterios de evaluación de la actividad:</b> <a href="#">Rúbrica de práctica de laboratorio.</a> <a href="#">Rúbrica de Reporte de práctica de laboratorio.</a>
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	de	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	de	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf</a>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

**Universidad Estatal de Sonora. (2024).** *Secuencia didáctica del curso Hidrometalurgia* (Elab. R. Recio Sánchez; Rev. G. F. García Albelaís). Coordinación de Procesos Educativos.

**Recio Sánchez, R. (2006).** *Manual de pruebas metalúrgicas* (Carrera de Ingeniero en Geociencias, periodo febrero–junio 2006). Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.

**Marsden, J., & House, C. (2006).** *The Chemistry of Gold Extraction* (2nd ed.). SME.

**Habashi, F. (1999).** *Textbook of Hydrometallurgy*. Metallurgie Extractive Québec.

**Dreisinger, D. (2006).** Copper leaching from primary sulfides: Options for biological and chemical extraction of copper. *Hydrometallurgy*, 83(1–4), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2006.03.030>

**Gómez, M. (2013).** *Lixiviación de Minerales*. Universidad Nacional de San Juan.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

### Normas técnicas aplicables

- **NOM-141-SEMARNAT-2003** – Que establece los criterios para el diseño, construcción, operación y postclausura de presas de jales. Aplicable al manejo de residuos en lixiviación.
- **NMX-AA-132-SCFI-2006** – Análisis de aguas – determinación de metales por espectrometría de absorción atómica. Aplicable para analizar la solución rica.
- **ISO 14001:2015** – Sistemas de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso. Para asegurar que el proceso de lixiviación se realice bajo estándares ambientales.
- **ISO 9200:2021** – Hydrometallurgy — Vocabulary. Normaliza términos usados en la práctica.
- **OSHA 1910.1200 (HazCom)** – Norma sobre comunicación de riesgos químicos, útil en el manejo seguro del ácido sulfúrico.

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	Prueba de determinación del por ciento de sólidos
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Determinar el porcentaje de sólidos para caracterizar adecuadamente pulpas minerales, siguiendo normas técnicas y usando instrumentos de laboratorio, durante el desarrollo de operaciones metalúrgicas, mostrando precisión y compromiso con la calidad.

<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>
La determinación del porcentaje de sólidos en una pulpa mineral es fundamental para el control y optimización de los procesos metalúrgicos. Este porcentaje indica la proporción de masa sólida respecto al volumen total de la mezcla sólido-líquido, y se expresa en %. El conocimiento preciso de este valor permite ajustar parámetros como la velocidad de sedimentación, la eficiencia de filtrado, y el consumo de reactivos. Se basa en principios de densidad y conservación de masa, siendo un parámetro clave en operaciones de molienda, flotación y lixiviación.

<b>MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS</b>
<p><b>EPP:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guantes</li> <li>- Gafas de seguridad</li> <li>- Bata de laboratorio</li> </ul> <p><b>Determinación de por ciento de sólidos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza Marcy</li> <li>- Recipiente con capacidad de 1 lt.</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA</b>
<p><b>Determinación del por ciento de sólidos</b></p> <p>Para llevar a cabo esta determinación se puede utilizar una balanza especial diseñada para trabajar con pulpas. Esta balanza cuenta con un recipiente aforado con capacidad de un litro. Al llenarlo con la pulpa, se coloca sobre la balanza calibrada, la cual proporciona directamente la densidad de la pulpa (kg/L) y, en función de dicha densidad, también puede indicar el porcentaje aproximado de sólidos dependiendo de la composición del mineral. No obstante, el método más exacto implica determinar el peso del sólido seco contenido en un litro de pulpa.</p> <p>Para obtener el peso de los sólidos, se multiplica el porcentaje de sólidos (en fracción decimal) por la densidad de la pulpa (kg/L).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Pesado del recipiente vacío:</b> Seleccionar un recipiente seco y limpio con capacidad mínima de un litro. Pesarlo en la balanza y anotar el valor obtenido (Peso 1).</li> <li>2. <b>Toma de muestra de pulpa:</b> Homogeneizar completamente la pulpa agitando su contenido para asegurar que los sólidos estén bien distribuidos. Medir exactamente un litro de pulpa y verterlo en el recipiente previamente pesado.</li> <li>3. <b>Pesado del recipiente con pulpa:</b> Pesar nuevamente el recipiente ahora con el litro de pulpa (Peso 2).</li> <li>4. <b>Cálculo de la densidad de la pulpa:</b> Restar el Peso 1 (recipiente vacío) al Peso 2 (recipiente</li> </ol>

- con pulpa) para obtener el peso neto del litro de pulpa (expresado en kg/L).
- Filtrado y secado del sólido:** Vaciar el contenido del recipiente sobre un sistema de filtrado (filtro de vacío o papel filtro adecuado). Recoger el sólido, colocarlo en una estufa de secado a temperatura controlada (aproximadamente 105 °C) hasta eliminar completamente la humedad. Dejar enfriar en un desecador y pesar el sólido seco.
  - Cálculo del porcentaje de sólidos:** Aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{porcentaje de solidos} = \left( \frac{\text{peso del solido seco}}{\text{peso del litro de pulpa}} \right) \times 100$$

Este resultado representa el porcentaje en masa de sólidos presentes en un litro de pulpa, un dato fundamental para evaluar la eficiencia de los procesos metalúrgicos.

### RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que al finalizar la práctica los estudiantes determinen con precisión el porcentaje de sólidos en una pulpa mineral, comprendan su importancia en la operación de plantas metalúrgicas y sean capaces de aplicar correctamente los principios de densidad y masa. Esta práctica aporta datos clave para el diseño y control de procesos industriales, por lo que es esencial en la formación profesional del estudiante de ingeniería en minas o metalurgia.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos permiten comparar la cantidad de sólidos presentes en diferentes muestras de pulpa. Una densidad más alta puede indicar una mayor concentración de mineral, mientras que un porcentaje bajo puede señalar una dilución excesiva. Estos datos deben interpretarse considerando la naturaleza del mineral y los requerimientos del proceso en que se aplicará. Los errores comunes pueden derivar de una mala homogeneización o un secado incompleto.

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La práctica permitió aplicar conceptos fundamentales de física y química para obtener un parámetro indispensable en el procesamiento de minerales. Se comprobó la importancia de un adecuado control del porcentaje de sólidos para lograr una operación eficiente y sostenible en plantas de beneficio. Esta experiencia fortalece la capacidad del estudiante para integrar conocimientos teóricos en situaciones reales, desarrollando habilidades como la precisión, el análisis crítico y la toma de decisiones informadas.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Problemas o ejercicios adicionales

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	de	<b>Criterios de evaluación de la actividad:</b> <a href="#">Rúbrica de práctica de laboratorio.</a> <a href="#">Rúbrica de Reporte de práctica de laboratorio.</a>
-------------------------	----	--

Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica de Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf</a>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

**Universidad Estatal de Sonora. (2024).** *Secuencia didáctica del curso Hidrometalurgia* (Elab. R. Recio Sánchez; Rev. G. F. García Albelaís). Coordinación de Procesos Educativos.

**Recio Sánchez, R. (2006).** *Manual de pruebas metalúrgicas* (Carrera de Ingeniero en Geociencias, periodo febrero–junio 2006). Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.

**Osorio, L., & Roldán, J. (2018).** *Ingeniería de procesamiento de minerales*. Universidad Nacional de Colombia.

**Wills, B. A., & Finch, J. (2016).** *Wills' Mineral Processing Technology* (8th ed.). Elsevier.

**Taggart, A. F. (2000).** *Handbook of Mineral Dressing*. Wiley.

## NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

### Normas Técnicas Aplicables

- **ISO 12743:2006:** Sampling of copper, lead, zinc and nickel concentrates.
- **ISO 3082:2009:** Iron ores — Sampling and sample preparation procedures.
- **NOM-117-SSA1-1994:** Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de humedad en alimentos.
- **NMX-AA-007-SCFI-2000:** Análisis de agua — Medición de sólidos totales disueltos y suspendidos en agua — Método de prueba.



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

## ANEXOS

1.- Ejemplo:

Se requiere determinar el porcentaje de sólidos a una pulpa de derrame de ciclón y la que al tomar un litro registró un peso de 1327 gramos.

1. - Para obtener el peso de la pulpa se tomó primero un vaso que vacío peso 800 gramos.
2. - El peso del vaso con la pulpa resultó de 2127 gramos.
3. - El peso del recipiente con pulpa menos el peso del recipiente vacío nos da el peso de un litro de pulpa.

$$\text{Peso neto de pulpa} = 2127 \text{ gr.} - 800 \text{ gr.} = 1327 \text{ gr.}$$

4. - Se filtró la pulpa.
5. - El producto del filtrado se secó y dio un peso de 413 gramos.
6. - % de sólidos = (peso del sólido seco) (100) / peso de pulpa

$$\% \text{ solidos} = \frac{(413 \text{ gr})(100)}{1327 \text{ gr}} = 31.12\%$$

Con este parámetro determinado, es fácilmente calculable el peso del sólido seco en cualquier volumen de pulpa puesto que se conoce la densidad de la misma y es fácil cuantificar las cantidades de reactivos a agregar y que sean función del tonelaje procesado.

<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	Prueba de sedimentación o asentamiento
<b>COMPETENCIA DE LA PRÁCTICA</b>	Evaluar la velocidad de sedimentación para optimizar procesos de separación sólido-líquido, bajo condiciones específicas de laboratorio y con materiales preparados, en el estudio del comportamiento de pulpas minerales, desarrollando habilidades de observación y toma de decisiones.

<b>FUNDAMENTO TEÓRICO</b>
La sedimentación es un proceso físico mediante el cual los sólidos suspendidos en un líquido se separan por acción de la gravedad. En procesos hidrometalúrgicos como la lixiviación, este fenómeno es esencial para recuperar soluciones cargadas, reducir volumen de pulpas y optimizar etapas posteriores. El uso de floculantes mejora significativamente la velocidad de asentamiento al formar agregados (flóculos) que incrementan el peso de las partículas y su decantación. Evaluar este comportamiento permite determinar la dosis óptima del reactivo y adecuar el proceso a las características del mineral tratado.

<b>MATERIALES, EQUIPAMIENTO Y/O REACTIVOS</b>
<p><b>EPP:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guantes</li> <li>- Gafas de seguridad</li> <li>- Bata de laboratorio</li> </ul> <p><b>Determinación de molienda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pulpa</li> <li>- 0.100 gr de floculante</li> <li>- 50 ml de agua</li> <li>- Vaso de precipitado</li> <li>- Probeta 1 lt.</li> <li>- Balanza</li> <li>- Cinta adhesiva</li> <li>- Reloj</li> </ul>

<b>PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA</b>
<p><b>PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN O ASENTAMIENTO</b></p> <p>Esta prueba se utiliza para evaluar la velocidad de asentamiento de sólidos en pulpas provenientes de procesos como la lixiviación dinámica o la flotación, con el fin de determinar la eficiencia en la separación de fases y el porcentaje de sólidos remanentes. El procedimiento consiste en lo siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparar el floculante:             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Tomar un vaso de precipitado de 100 mL limpio.</li> <li>o Pesar 0.100 g del floculante.</li> <li>o Agregar 50 mL de agua y el floculante. Agitar lentamente hasta disolver por completo. <b>No usar agua caliente.</b></li> <li>o Añadir el resto del agua hasta completar la disolución (preparación al 0.1%).</li> </ul> </li> <li>2. Determinar el porcentaje de sólidos en la pulpa:</li> </ol>

- Si se desconoce, emplear el método de la práctica anterior o usar balanza MARCY.
- Pesar un litro de pulpa homogénea y multiplicar por el % de sólidos para obtener el peso seco.
- 3. Preparar las probetas:
  - Tomar dos probetas de un litro. Pesar vacías y anotar.
  - Llenar con pulpa homogénea hasta el menisco. Asegurar que la diferencia entre probetas no supere  $\pm 15$  g.
  - Agitar antes de llenar nuevamente si es necesario.
- 4. Marcar y preparar para la prueba:
  - Colocar cinta adhesiva en la probeta y marcar el "cero" en el menisco.
  - Tapar y agitar con movimientos de  $180^\circ$  por un minuto o 20 veces.
  - A una probeta no se le agrega floculante (blanco), a las otras se les dosifica según cálculo (1 a 25 g/ton).
- 5. Ejecutar la prueba:
  - Colocar las probetas en una superficie estable.
  - Iniciar el cronómetro y observar el avance de la zona clarificada.
  - Marcar en la cinta adhesiva cada minuto hasta los 15 min, luego a los 30, 60, 120 min.
- 6. Medición y análisis:
  - Retirar la cinta adhesiva y pegar en una hoja alineando el cero.
  - Medir desde el cero hasta cada marca.
  - Calcular velocidad de asentamiento (cm/min).
  - Calcular el nuevo porcentaje de sólidos con base en el volumen clarificado.
- 7. Interpretación:
  - Comparar resultados entre diferentes dosificaciones.
  - Seleccionar el floculante con mayor eficiencia (mayor velocidad y % sólidos final).
  - Si el floculante no mejora la sedimentación, considerar cambiar la dosificación o el reactivo.

### RESULTADOS ESPERADOS

Se espera obtener datos comparativos que indiquen cuál es la mejor dosificación de floculante para acelerar la sedimentación de sólidos, mejorando la eficiencia del proceso de separación sólido-líquido. Esta información permitirá optimizar el uso de reactivos y tiempos de procesamiento en operaciones minero-metalúrgicas reales.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados permitirán observar diferencias en la velocidad de asentamiento en función de la cantidad de floculante aplicada. Una mayor eficiencia se reflejará en una mayor velocidad de clarificación y un porcentaje de sólidos remanente más elevado. La comparación con la muestra blanco permitirá determinar si el uso del floculante es justificado o si se debe ajustar el tipo o cantidad de reactivo.

### CONCLUSIONES Y REFLEXIONES

La prueba de sedimentación permite evaluar la eficiencia de distintos floculantes en condiciones controladas de laboratorio. Esta actividad fortalece el aprendizaje práctico sobre fenómenos

fisicoquímicos de decantación, esenciales en la minería e hidrometalurgia. Además, desarrolla habilidades analíticas para la toma de decisiones técnicas en campo, como la selección de reactivos y la dosificación óptima, contribuyendo a una operación sustentable y rentable.

### ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

Problemas o ejercicios adicionales

### EVALUACIÓN Y EVIDENCIAS DE APRENDIZAJE

Criterios de evaluación	de	<b>Criterios de evaluación de la actividad:</b> <a href="#">Rúbrica de práctica de laboratorio.</a> <a href="#">Rúbrica de Reporte de práctica de laboratorio.</a>
Rúbricas o listas de cotejo para valorar desempeño	de	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/Practica_de_Laboratorio.pdf</a>
Formatos de reporte de prácticas	de	<a href="https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf">https://www.ues.mx/archivos/alumnos/rubricas/ReportedepRACTICadelaboratorio.pdf</a>

## FUENTES DE INFORMACIÓN

**Universidad Estatal de Sonora. (2024).** *Secuencia didáctica del curso Hidrometalurgia* (Elab. R. Recio Sánchez; Rev. G. F. García Albelaís). Coordinación de Procesos Educativos.

**Recio Sánchez, R. (2006).** *Manual de pruebas metalúrgicas* (Carrera de Ingeniero en Geociencias, periodo febrero–junio 2006). Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.

**Marsden, J., & House, C. (2006).** *The Chemistry of Gold Extraction* (2nd ed.). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

**Wills, B. A., & Finch, J. (2016).** *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery* (8th ed.). Butterworth-Heinemann.

## **NORMAS TÉCNICAS APLICABLES**

### **Normas técnicas aplicables**

- **NOM-010-STPS-2014:** Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral - Reconocimiento, evaluación y control.
- **ISO 5667-16:2017:** Directrices sobre el diseño y la realización de ensayos de sedimentación en el laboratorio.
- **NMX-AA-123-SCFI-2006:** Análisis de aguas – Determinación de sólidos sedimentables.
- **ISO 14001:2015:** Sistemas de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso.



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu

## ANEXOS

1.- Ejemplo:

Definir la dosificación adecuada de floculante a emplear para una pulpa de colas de flotación con densidad de 1234 gr/l y 33 % de sólidos.

Se disuelve 0.1 gr de floculante en 100 ml de agua (0.1 %).

Peso del sólido seco =  $(1234) (33/100) = 407$  gr.

El peso de las tres probetas vacías es:	
Probeta No. 1 (Blanco)	625 gr
Probeta No. 2	617 gr
Probeta No. 3	631 gr

Se homogeneizó la pulpa y se tomó un litro en cada probeta y de este paso se obtienen los siguientes datos.

El peso de las tres probetas con pulpa resultó:	
Probeta No. 1 (Blanco)	1850 gr
Probeta No. 2	1844 gr
Probeta No. 3	1863 gr

Peso neto de pulpa:	
Probeta No. 1 (Blanco)	1225 gr
Probeta No. 2	1227 gr
Probeta No. 3	1232 gr

Se puede observar como la diferencia en peso de la pulpa entre cada una de las probetas, es menor de 15 gramos.

Como se conoce el peso del sólido seco se puede añadir el floculante en gr/ton y para este caso en la probeta No. 2 se agregó 1 gr/ton mientras que en la No. 3 fueron 3 gr/ton.

De acuerdo con lo anterior obtenemos que tenemos 407 gr, de sólido seco. En escala sería lo mismo que tener 407 kilos o lo que es lo mismo 0.407 toneladas.

Para pruebas de laboratorio así como los kilos se convierten en toneladas, los miligramos se convierten

o se escalan a gramos de tal forma que es lo mismo trabajar en mg/kg que gr/ton.

Lo anterior se señala debido a que en el caso de la probeta 1 se dijo que se agregó 1 gr/ton de floculante y esto significa que se dosificó 0.4 ml de la solución al 0.1 % a la pulpa.

El 0.4 ml tiene su explicación en que nosotros necesitamos agregar 0.4 gramos puesto que tenemos 0.407 toneladas.

Como la solución se preparó al 0.1 % hay .001 mg de floculante por cada mililitro y por eso se agregan 0.4 ml.

De acuerdo con lo explicado a la probeta 3 se le agregaron 1.2 ml de floculante.

Las probetas se agitaron, se corrió la prueba y las mediciones para cada una se registraron en la tiras de cinta adhesiva. Con estos datos se procede a evaluar el comportamiento de las pruebas.

Probeta No.	Tiempo min.	Dosificación gr/ton	Distancia cm.	Velocidad ft/hr	% Sólido final
<b>1</b>	1	blanco	0.5	0.984	33.49
	2		1.2	1.181	33.92
	3		2.3	1.509	34.64
	4		3.1	1.526	35.39
	5		4.0	1.969	35.54
	15		6.1	0.641	36.83
	30		7.0	0.459	37.51
	60		9.3	0.305	38.95

La tabla anterior muestra los resultados para la probeta No. 1 o sea el blanco (sin floculante). Ahora se presentan los datos obtenidos para las probetas 2 y 3.

Probeta No.	Tiempo min.	Dosificación gr/ton	Distancia cm.	Velocidad ft/hr	% Sólido final
<b>1</b>	1	<b>1</b>	1.2	2.364	33.72
	2		2.1	2.069	34.29
	3		3.0	1.970	34.88
	4		4.2	2.069	35.64
	5		6.1	2.403	36.76
	15		6.9	0.906	37.44
	30		7.8	0.512	38.14
	60		9.6	0.315	39.25

Probeta No.	Tiempo min.	Dosificación gr/ton	Distancia cm.	Velocidad ft/hr	% Sólido final
<b>1</b>	1	<b>3</b>	1.5	2.955	33.86
	2		2.8	2.758	34.72
	3		3.7	2.429	35.33
	4		5.1	2.512	35.95
	5		6.2	2.443	36.60
	15		8.1	1.064	37.97
	30		9.8	0.644	39.44
	60		13.5	0.443	40.82

Solo es necesario indicar que la distancia se mide de forma acumulada es decir, cada medición se hace desde la marca del cero hasta la marca que exista según el tiempo transcurrido.

La velocidad se calcula con los cm. por minuto y se convierte a pies por hora. El % de sólidos final se hace como ya se dijo eliminando el volumen de agua (densidad 1) del peso de la pulpa y se obtiene el peso de la pulpa al tiempo transcurrido. El peso del sólido seco por cien se divide entre el nuevo peso de la pulpa.

Por ejemplo la velocidad para la probeta tres a los sesenta minutos resulta de la división de 13.5 cm q los sesenta minutos. Se hace la operación y se convierte a ft/hora dando 0.443 ft/hora.

El porcentaje de sólido final se hace midiendo la distancia del cero a la marca y de esa distancia se elimina el volumen de la zona clarificada en este caso a 1232 gr (peso neto de la pulpa) se le descuentan 265 ml y queda el peso en 967 gramos; se toma el peso del sólido seco que es de 407 gr y se divide entre el peso de la pulpa (407 / 967) se multiplica el resultado por cien y obtenemos el % de sólido final que es de 40.82 %.

Al analizar las pruebas se toma la que haya dado los mejores resultados en cuanto a sólido final y una velocidad moderada es decir, que no sea muy lenta porque no trabajaría ni muy rápido para prevenir atascamientos por exceso de sólido en el fondo del espesador.

Desde este punto de vista, los mejores resultados se obtienen al adicionar 3 gr/ton de floculante (probeta número tres).



# UES

Universidad Estatal de Sonora  
La Fuerza del Saber Estimulará mi Espíritu