

MUESTREADOR Y PREPARADOR DE MUESTRAS MINERALES

Este curso proporciona los conocimientos esenciales para realizar de manera segura, ordenada y eficiente el muestreo y la preparación de muestras minerales, comprendiendo los principios de representatividad, identificación, trazabilidad y control de calidad aplicados a las operaciones mineras y los laboratorios.

Los participantes aprenderán a recolectar muestras de diferentes fuentes, aplicar procedimientos de reducción y división de muestras, realizar operaciones de secado, chancado, pulverización y homogenización, prevenir la contaminación cruzada, aplicar protocolos de seguridad y utilizar adecuadamente los EPP, herramientas y equipos de preparación. Asimismo, desarrollarán competencias para mantener la cadena de custodia, registrar las actividades y aplicar controles QA/QC que contribuyan a la confiabilidad de los resultados analíticos y a la calidad de la información utilizada en la evaluación de recursos minerales.

CURSO: MUESTREADOR Y PREPARADOR DE MUESTRAS MINERALES



CONTENIDO

Módulo 1: Fundamentos del Muestreo Minero

- 1.1 Introducción a la cadena de valor mina-laboratorio
- 1.2 Principios estadísticos del muestreo: teoría de Gy y error de muestreo
- 1.3 Tipos de muestras: canal, punto, compósito y testigo de perforación
- 1.4 Códigos y protocolos de reporte: JORC y NI 43-101 - nociones básicas
- 1.5 Seguridad y EPP en zonas de muestreo activo

Módulo 2: Técnicas de Muestreo en Campo

- 2.1 Muestreo de mineral en tajos y frentes de explotación
- 2.2 Muestreo de core de perforación diamantina
- 2.3 Muestreo de pilas (stockpiles) y fajas transportadoras
- 2.4 Muestreo de relaves y colas de proceso
- 2.5 Cadena de custodia y trazabilidad de la muestra

Módulo 3: Preparación Mecánica de Muestras

- 3.1 Recepción, registro y codificación de muestras en laboratorio
- 3.2 Secado y control de humedad
- 3.3 Chancado primario y secundario de muestras
- 3.4 Cuarteo: riffle splitter, cuarteo manual y divisor rotatorio
- 3.5 Pulverización, tamizado y control de granulometría

Módulo 4: Control de Calidad y Aseguramiento (QA/QC)

- 4.1 Duplicados, blancos y estándares de referencia
- 4.2 Control de contaminación cruzada entre muestras
- 4.3 Registro de cadena de custodia y documentación QA/QC
- 4.4 Errores comunes de muestreo y cómo prevenirlos
- 4.5 Introducción a gráficos de control (Shewhart) para QC

Módulo 5: Equipos, Normativa y Entorno Laboral

- 5.1 Operación y mantenimiento básico de chancadoras, divisores y pulverizadores
- 5.2 Normativa peruana aplicable: D.S. N.º 024-2016-EM y otras disposiciones relacionadas
- 5.3 Manejo de fichas técnicas y hojas de seguridad (SDS)
- 5.4 Reportes de producción y entrega al laboratorio analítico
- 5.5 Organización y control del área de preparación de muestras

Módulo 1: Fundamentos del Muestreo Minero

1.1 Introducción a la cadena de valor mina-laboratorio

La **cadena de valor mina-laboratorio** comprende el conjunto de actividades mediante las cuales una muestra mineral es obtenida en campo, identificada, transportada, recibida, preparada y finalmente enviada para su análisis. La calidad del resultado analítico depende no solo del laboratorio, sino de la correcta ejecución de cada etapa anterior. Un error cometido durante el muestreo o la preparación puede afectar la representatividad de la muestra y, por tanto, la confiabilidad de los resultados utilizados para tomar decisiones operativas y metalúrgicas.



El **muestreador y preparador de muestras minerales** participa principalmente en las etapas de obtención, identificación, control, preparación y entrega de las muestras. Por ello, debe comprender cómo su trabajo se relaciona con las operaciones de mina, planta y laboratorio.

Flujo general de la muestra

De manera general, el recorrido de una muestra puede representarse como:

Mina → Muestreo → Identificación y registro → Transporte y cadena de custodia → Recepción → Secado → Chancado → Homogeneización y cuarteo → Pulverización → Control de calidad → Laboratorio analítico

No todas las muestras siguen exactamente el mismo flujo. El procedimiento depende del **tipo de muestra**, su origen, características físicas, humedad, granulometría, método analítico solicitado y protocolo establecido por la operación o el laboratorio.

Obtención de la muestra

El proceso comienza en el punto donde se requiere conocer las características del material. La muestra puede proceder de un **frente de explotación, tajo, perforación diamantina, stockpile, faja transportadora, planta de procesamiento, relave u otro punto definido por el programa de muestreo.**

La función del muestreador es obtener una cantidad de material que represente adecuadamente el lote o volumen que se desea evaluar, siguiendo el procedimiento establecido. La ubicación, método de extracción, cantidad y condiciones de la toma deben quedar registradas.

La muestra debe mantenerse identificada desde el momento de su obtención. Una muestra sin identificación correcta pierde gran parte de su utilidad, incluso si posteriormente es preparada y analizada correctamente.

Identificación y registro

Cada muestra debe contar con un **código único** que permita relacionarla con su origen y con la documentación correspondiente. Según el sistema utilizado por la operación, el registro puede incluir información como:

- Código o número de muestra.
- Fecha y hora de muestreo.
- Punto o ubicación de procedencia.
- Tipo de muestra.
- Frente, banco, perforación, intervalo o lote correspondiente.
- Nombre o identificación del responsable.
- Observaciones relevantes sobre el material.

El registro debe ser **claro, legible y trazable**. Los códigos utilizados en la muestra física, bolsas, etiquetas, formularios y sistemas digitales deben corresponder entre sí.

Transporte y cadena de custodia

Después del muestreo, la muestra debe trasladarse al lugar definido para su recepción o preparación. Durante esta etapa es necesario evitar **pérdidas, contaminación, mezcla de muestras, alteración de la identificación o manipulación no autorizada.**

La **cadena de custodia** permite documentar quién recibió, trasladó o entregó una muestra y en qué condiciones. Su nivel de control depende del procedimiento establecido por la empresa y de la importancia de los resultados que se obtendrán.

El muestreador debe comprobar que las bolsas o recipientes estén correctamente cerrados, identificados y protegidos antes de su traslado.

Recepción y preparación

En el área de laboratorio o preparación, la muestra es recibida y comparada con la documentación correspondiente. Se verifica la **identificación, cantidad, integridad del envase y condición de la muestra**.

Posteriormente puede comenzar la preparación mecánica. Dependiendo del procedimiento, esta puede incluir **secado, chancado, reducción de tamaño, cuarteo y pulverización**. El objetivo es obtener una porción adecuada para el análisis, manteniendo tanto como sea posible la representatividad del material original.

Durante la preparación, el operador debe controlar especialmente la **contaminación cruzada**. Los equipos, superficies y herramientas deben limpiarse según los procedimientos establecidos antes de procesar la siguiente muestra, especialmente cuando existe riesgo de transferencia de material entre muestras con diferentes concentraciones.

Preparación y análisis

La muestra preparada se entrega al laboratorio analítico en las condiciones requeridas por el procedimiento. Allí se aplicará el método analítico correspondiente para determinar, según el caso, **leyes de metales, elementos químicos u otras propiedades del material**.

Es importante distinguir entre **preparación de muestras y análisis químico**. El preparador no debe modificar, sustituir ni interpretar un resultado analítico fuera de sus funciones. Su responsabilidad es asegurar que la muestra llegue correctamente identificada, preparada y documentada.

Importancia de la trazabilidad

La trazabilidad permite reconstruir el recorrido de una muestra desde su origen hasta el resultado analítico. Para ello, deben mantenerse vinculados:

origen de la muestra → código → registro → transporte → recepción → preparación → muestra enviada al análisis → resultado

Una ruptura de esta relación puede generar dudas sobre la procedencia o correspondencia del resultado.

Por esta razón, el trabajo del muestreador y preparador requiere **orden, disciplina documental y cumplimiento de procedimientos**. La velocidad de procesamiento nunca debe comprometer la identificación, integridad o trazabilidad de las muestras.

Coordinación entre áreas

La cadena mina-laboratorio involucra diferentes áreas y responsables. El muestreador puede interactuar con personal de **geología, mina, planta concentradora, laboratorio, control de calidad y supervisión**.

Cada área recibe información o material de la etapa anterior y debe entregarlo correctamente a la siguiente. Cuando se detecta una discrepancia, una muestra dañada, una identificación ilegible, una cantidad insuficiente o cualquier otra condición que pueda afectar el proceso, corresponde **detener o poner en observación la muestra según el procedimiento establecido e informar al responsable**.

El objetivo operativo es mantener la continuidad del proceso sin perder la **representatividad, identificación, integridad y trazabilidad** de la muestra.

1.2 Principios estadísticos del muestreo: teoría de Gy y error de muestreo

El muestreo de minerales busca obtener una **porción representativa de un lote** para estimar sus características, como ley, humedad, granulometría u otras propiedades. Debido a que un lote mineral es heterogéneo, una muestra nunca representa el material de manera perfecta. El objetivo del muestreo es controlar y reducir la **incertidumbre asociada a la selección de partículas**, utilizando procedimientos que permitan obtener resultados suficientemente confiables.

La **Teoría del Muestreo de Pierre Gy** constituye una de las principales bases utilizadas para comprender y controlar los errores asociados al muestreo de materiales particulados. Su aplicación permite relacionar las características del material, el tamaño de partícula, la masa de muestra y el procedimiento de extracción con la variabilidad esperada del muestreo.

Población, lote y muestra

Para comprender el proceso, es necesario diferenciar algunos conceptos básicos:

- **Lote (lot):** conjunto total de material que se desea caracterizar.
- **Incremento:** cantidad de material obtenida mediante una extracción individual durante el muestreo.
- **Muestra primaria:** conjunto de incrementos obtenidos del lote mediante un procedimiento establecido.
- **Submuestra:** porción obtenida posteriormente a partir de una muestra para continuar con la preparación o análisis.
- **Muestra representativa:** muestra cuya composición proporciona una estimación adecuada de la composición del lote que representa.

Una muestra no debe considerarse representativa simplemente porque fue tomada del material. Para que tenga valor estadístico, la selección debe realizarse de manera que las diferentes partículas o fracciones del lote tengan una **probabilidad adecuada de ser seleccionadas**. La selección incorrecta puede producir resultados que no reflejen la verdadera composición del material.

Heterogeneidad del mineral

La principal dificultad del muestreo es que los minerales presentan **heterogeneidad**. Las partículas pueden diferir en composición, tamaño, densidad, forma, mineralogía y contenido del elemento de interés.

Por ejemplo, en un mineral aurífero pueden existir partículas con concentraciones muy diferentes de oro. Si una muestra contiene accidentalmente una proporción excesiva de partículas de alta ley, el resultado analítico puede ser superior al valor real del lote. Si ocurre lo contrario, el resultado puede ser inferior.

La heterogeneidad aumenta la dificultad para obtener una muestra representativa y debe considerarse al definir la **masa de muestra, tamaño máximo de partícula, número de incrementos y método de reducción**.

Principios estadísticos básicos

El operador debe comprender algunos conceptos estadísticos fundamentales.

La **media** representa el valor promedio de un conjunto de resultados. La **varianza** y la **desviación estándar** permiten describir la dispersión de los resultados alrededor de la media.

Cuando se repite correctamente un procedimiento de muestreo, los resultados obtenidos pueden presentar variaciones debido a la selección diferente de partículas. Una mayor dispersión indica una mayor **incertidumbre del muestreo**.

En términos prácticos:

Mayor heterogeneidad + menor masa de muestra → mayor variabilidad esperada

Menor heterogeneidad + mayor masa de muestra → menor variabilidad esperada

Esta relación no debe interpretarse como una regla absoluta para cualquier material, pero permite comprender por qué la reducción excesiva de masa sin un procedimiento adecuado puede aumentar el error.

Error de muestreo

El **error de muestreo** es la diferencia entre la característica estimada a partir de la muestra y la característica que tendría el lote completo. El valor verdadero del lote normalmente no puede conocerse directamente, por lo que el muestreo busca reducir la incertidumbre asociada a esa estimación.

La teoría de Gy diferencia diversos componentes del error y de la incertidumbre. Para el trabajo del operador es especialmente importante comprender el **Error Fundamental de Muestreo (FSE, Fundamental Sampling Error)**.

El FSE está relacionado con la heterogeneidad propia de las partículas y con la selección de una cantidad limitada de ellas. Depende, entre otros factores, de las características del material, distribución de tamaños, concentración del mineral de interés y masa de muestra.

Factores que afectan el error fundamental

Entre los factores operativos más importantes se encuentran:

- **Masa de muestra:** una masa insuficiente puede incrementar la variabilidad.
- **Tamaño máximo de partícula:** partículas grandes pueden generar mayor variabilidad cuando la masa de muestra es pequeña.
- **Distribución granulométrica:** diferentes tamaños pueden contener diferentes concentraciones del mineral de interés.
- **Heterogeneidad de composición:** aumenta la dificultad para obtener una muestra representativa.
- **Grado de liberación:** el comportamiento de las partículas depende de cómo se distribuye el mineral de interés dentro de la matriz.
- **Método de reducción:** la división debe permitir una selección adecuada de las partículas.
- **Número y distribución de incrementos:** varios incrementos correctamente distribuidos pueden representar mejor el lote que una extracción aislada.

La literatura técnica muestra que, en general, las distribuciones de partículas más finas permiten trabajar con **menores masas mínimas de muestra** para alcanzar determinados niveles de incertidumbre, siempre que el procedimiento de muestreo y preparación sea apropiado.

Error aleatorio y sesgo

Es importante distinguir entre **error aleatorio** y **sesgo**.

El error aleatorio produce variaciones que pueden cambiar de una muestra a otra. Puede evaluarse mediante medidas de dispersión y, bajo determinadas condiciones, reducirse aumentando la cantidad de información o mejorando el diseño del muestreo.

El **sesgo (bias)** es diferente: representa una desviación sistemática causada por un procedimiento que favorece la selección de determinadas partículas o fracciones. Un método sesgado puede producir resultados consistentemente altos o bajos.

Por ejemplo, si un procedimiento permite que las partículas gruesas tengan mayor probabilidad de ingresar a la muestra que las partículas finas, la muestra puede dejar de representar correctamente al lote. **Aumentar simplemente el número de muestras no corrige necesariamente un procedimiento sesgado.**

Por esta razón, la representatividad depende tanto de la cantidad de material como de **cómo se selecciona y divide la muestra**.

Masa de muestra y tamaño de partícula

Uno de los conceptos prácticos derivados de la teoría de Gy es la relación entre **masa de muestra, tamaño de partícula y variabilidad**.

Cuando el material es grueso y heterogéneo, una muestra pequeña puede contener una cantidad insuficiente de partículas para representar adecuadamente el lote. A medida que el material se reduce de tamaño y se mantiene un procedimiento correcto de división, puede disminuir la masa necesaria para las etapas posteriores.

Por ello, la reducción de tamaño mediante **chancado y pulverización** no debe considerarse únicamente una operación mecánica. Forma parte de una secuencia de preparación destinada a obtener una muestra adecuada para el análisis sin introducir errores adicionales.

Muestreo correcto y reducción de errores

En la práctica, el operador debe aplicar principios sencillos pero fundamentales:

- Evitar tomar una única porción de manera arbitraria cuando el procedimiento exige varios incrementos.
- Mantener una **masa de muestra adecuada** para cada etapa.
- Evitar seleccionar únicamente partículas grandes, finas, superficiales o visualmente diferentes.
- Mantener el material correctamente mezclado cuando el procedimiento lo requiera.
- Utilizar equipos de división adecuados para reducir la masa.
- Evitar pérdidas de finos durante la manipulación.
- Evitar contaminación entre muestras.
- Mantener la identificación durante todas las etapas de preparación.
- Informar cualquier condición que pueda comprometer la representatividad.

La teoría de muestreo también considera que las operaciones posteriores a la extracción pueden introducir errores de preparación. Chancado, transferencia, división y otras operaciones deben ejecutarse correctamente para evitar que la preparación modifique la calidad de la muestra obtenida.

Aplicación para el muestreador y preparador

El objetivo del operador no es realizar cálculos estadísticos complejos en cada muestra, sino **comprender qué condiciones aumentan la incertidumbre y actuar de acuerdo con el procedimiento establecido**.

En particular, debe reconocer que una muestra representativa depende de una secuencia completa:

selección correcta → masa adecuada → reducción apropiada → división correcta → conservación de la integridad de la muestra

La teoría de Gy proporciona el fundamento para diseñar y evaluar esta secuencia. En aplicaciones profesionales pueden utilizarse modelos y cálculos más avanzados para estimar la varianza del Error Fundamental de Muestreo y establecer masas mínimas o condiciones de preparación. Las formulaciones clásicas de Gy también han sido objeto de desarrollos y extensiones posteriores, por lo que sus ecuaciones deben utilizarse de acuerdo con el tipo de material y las condiciones específicas del problema.

1.3. Tipos de muestras: canal, punto, compósito y testigo de perforación

En la exploración y explotación minera se utilizan diferentes tipos de muestras para determinar la composición, la ley y la distribución de los minerales en un yacimiento. La

selección del tipo de muestra depende del objetivo del muestreo, las características del material, el método de extracción y la información que se necesita obtener.



Cada tipo de muestra presenta ventajas y limitaciones. El personal encargado del muestreo debe conocer cómo se obtiene, qué información proporciona y qué condiciones pueden afectar su representatividad.

Tipos de muestras minerales



Muestra de canal

La **muestra de canal** se obtiene retirando una franja continua de material mineralizado a lo largo de una superficie previamente definida, generalmente en un afloramiento, frente de

explotación, pared de una labor minera o exposición geológica. Su finalidad es evaluar la variación de la mineralización a lo largo de un tramo determinado.

El procedimiento consiste en delimitar el recorrido del canal, establecer sus extremos y mantener, en la medida de lo posible, una sección transversal uniforme. El material extraído se recoge sobre una superficie limpia o directamente en un recipiente adecuado, evitando pérdidas de partículas finas y la incorporación de fragmentos ajenos al tramo seleccionado.

Para obtener una muestra útil, se deben controlar los siguientes aspectos:

- **Ubicación y orientación:** el canal debe seguir una trayectoria definida y documentada. Cuando sea posible, se orienta perpendicularmente a la estructura mineralizada para representar mejor su variación transversal.
- **Dimensiones:** la longitud, el ancho y la profundidad deben mantenerse conforme al procedimiento establecido para el tipo de roca y la mineralización.
- **Continuidad:** la extracción debe ser uniforme a lo largo del canal, sin seleccionar únicamente los fragmentos visualmente más ricos.
- **Recuperación del material:** se debe recoger la mayor cantidad posible del material desprendido, incluidas las fracciones finas.
- **Identificación:** se registra el código de la muestra, la ubicación, la orientación, la longitud del canal y las observaciones geológicas pertinentes.

El muestreo de canal puede emplearse para evaluar la distribución de leyes en estructuras mineralizadas, vetas, zonas de alteración y frentes de explotación. Sin embargo, sus resultados pueden verse afectados por la dureza de la roca, la presencia de fracturas, la distribución irregular de los minerales y las diferencias en la recuperación del material.

Una superficie accesible no garantiza por sí sola una muestra representativa. El canal debe planificarse de acuerdo con la geometría de la mineralización y los objetivos del programa de muestreo.

Muestra puntual

La **muestra puntual** se obtiene de una ubicación específica mediante la extracción de una cantidad determinada de material. Puede proceder de una roca, un fragmento mineralizado, un punto de una labor minera o una zona concreta de un acopio, según el procedimiento de trabajo.

Este tipo de muestra permite investigar una condición localizada, identificar la presencia de determinados minerales o realizar comprobaciones específicas. No obstante, una muestra tomada en un único punto no representa automáticamente todo el frente, el acopio o el lote del que procede.

La representatividad depende de la selección del punto y de la heterogeneidad del material. Si el objetivo es caracterizar un volumen considerable de mineral, una muestra puntual aislada puede producir resultados sesgados, especialmente cuando existen diferencias importantes de granulometría, mineralogía o ley.

Durante la toma se deben aplicar las siguientes prácticas:

- Definir y registrar la ubicación exacta del punto de muestreo.
- Evitar seleccionar material únicamente por su color, brillo, tamaño o apariencia de alta ley, salvo que se trate de una investigación selectiva expresamente definida.
- Utilizar herramientas limpias y apropiadas para el material.
- Recoger la cantidad establecida en el procedimiento, evitando pérdidas y contaminación.
- Registrar las condiciones particulares del punto y cualquier desviación observada.

En operaciones mineras, el término muestra puntual también puede utilizarse para describir una muestra obtenida de un punto de un proceso o instalación. Su interpretación debe considerar cómo se mueve el material y si la toma se realizó durante una condición estable o durante una variación del proceso.

Por ello, es importante distinguir entre una muestra destinada a investigar una ubicación específica y una muestra diseñada para representar un lote completo. Ambos objetivos requieren criterios de selección diferentes.

Muestra compósito

La **muestra compósito** se forma mediante la combinación de dos o más incrementos o submuestras obtenidos de ubicaciones, intervalos o momentos definidos. Su finalidad es obtener una muestra que represente, de acuerdo con un diseño establecido, un conjunto de material más amplio que el representado por cada incremento individual.

Los incrementos pueden proceder de diferentes intervalos de perforación, puntos de un acopio, sectores de una explotación o momentos de operación de una planta. La forma de combinarlos depende del objetivo del muestreo y de las propiedades que se desean evaluar.

Para preparar un compósito se deben definir previamente:

- **Objetivo y población representada:** qué material se pretende caracterizar y para qué se utilizarán los resultados.
- **Selección de incrementos:** ubicaciones, intervalos o momentos que deben incluirse.
- **Masa de cada incremento:** cantidad que corresponde incorporar según el diseño de muestreo.
- **Criterio de combinación:** proporciones iguales o ponderadas, de acuerdo con el objetivo y la contribución de cada incremento al material representado.
- **Homogeneización e identificación:** procedimiento para mezclar el material, conservar su integridad y registrar su procedencia.

Una combinación de masas iguales no siempre representa correctamente el conjunto original. Por ejemplo, si los incrementos corresponden a intervalos de diferente longitud o a volúmenes de material distintos, puede ser necesario aplicar una ponderación que refleje el objetivo del estudio. La regla de combinación debe definirse antes de preparar la muestra, no después de conocer los resultados analíticos.

Los compósitos se utilizan para estimar características medias de un conjunto de material y para realizar determinadas pruebas metalúrgicas, como ensayos de molienda o flotación. En estos casos, la selección de los incrementos debe corresponder a las condiciones que se

desea evaluar. Un compósito mal diseñado puede ocultar zonas de alta o baja ley, diferencias mineralógicas o variaciones relevantes para la operación.

Además, el resultado analítico de un compósito representa la mezcla obtenida y no permite identificar directamente la contribución individual de cada incremento. Cuando se necesita conocer la variabilidad espacial o temporal, las muestras individuales deben conservarse y analizarse según el diseño del programa.

Muestra de testigo de perforación

El **testigo de perforación** (core) es un cilindro de roca recuperado durante la perforación diamantina mediante una corona impregnada de diamantes y un sistema de barril portatestigos. Permite estudiar la continuidad de las estructuras geológicas, la mineralización, las alteraciones y las características físicas de la roca en profundidad.

A diferencia de los fragmentos obtenidos mediante otros métodos de perforación, el testigo conserva, cuando la recuperación es adecuada, información sobre la secuencia y la orientación de las estructuras geológicas. Por ello, su manipulación y muestreo requieren especial cuidado.

El procedimiento general comprende las siguientes actividades:

- **Recepción y ordenamiento:** colocar los testigos en las cajas correspondientes, respetando la secuencia de perforación y los límites entre corridas.
- **Verificación de identificación:** comprobar el código del sondeo, la numeración de las cajas, los intervalos y las marcas de profundidad.
- **Registro geológico:** documentar litología, alteración, mineralización, fracturas y otras características relevantes antes de cortar el testigo.
- **Marcado de intervalos:** definir los tramos que se muestrearán de acuerdo con el protocolo geológico del proyecto.
- **Corte y selección:** cuando corresponda, cortar longitudinalmente el testigo con una cortadora apropiada y limpia. La fracción destinada al análisis debe seleccionarse conforme al procedimiento establecido.
- **Embalaje y trazabilidad:** colocar el material seleccionado en bolsas identificadas, verificando la correspondencia entre el código de la muestra y el intervalo de origen.

La **recuperación del testigo** es una variable importante. Se refiere a la proporción de la longitud perforada que se recupera como testigo y suele expresarse en porcentaje. Una recuperación deficiente puede dificultar la interpretación geológica y generar incertidumbre sobre la representatividad del material disponible.

También deben considerarse la fragmentación, la pérdida de finos, la presencia de zonas trituradas y la distribución irregular de la mineralización. El personal no debe descartar fragmentos ni modificar los intervalos de muestreo por iniciativa propia. Cualquier pérdida, mezcla accidental o discrepancia en las marcas de profundidad debe comunicarse y registrarse.

El testigo no siempre se divide por la mitad de manera automática. El método de selección, la orientación del corte y la proporción destinada al análisis dependen de las características

de la roca, la distribución de la mineralización y el protocolo del proyecto. Los procedimientos deben procurar que la fracción enviada al laboratorio represente adecuadamente el intervalo y que se conserve material suficiente para verificaciones posteriores cuando así esté previsto.

Criterios para seleccionar el tipo de muestra

La selección del método debe responder al objetivo de trabajo. Las muestras de canal permiten evaluar la variación a lo largo de una superficie; las puntuales investigan ubicaciones concretas; los compósitos caracterizan mezclas de incrementos seleccionados; y los testigos proporcionan material recuperado de perforaciones para su evaluación geológica y analítica.

En todos los casos, la calidad de los resultados depende de la selección correcta del material, la aplicación uniforme del procedimiento, la prevención de pérdidas y contaminación y el registro completo de la procedencia. El personal debe comunicar cualquier condición que pueda comprometer la integridad de la muestra, en lugar de corregirla mediante decisiones no autorizadas.

1.4. Códigos y protocolos de reporte: JORC y NI 43-101 - nociones básicas

La información obtenida durante la exploración y evaluación de un yacimiento mineral debe registrarse, verificarse y comunicarse mediante criterios técnicos que permitan evaluar su calidad y confiabilidad. Para ello existen códigos y normas que establecen requisitos para la divulgación de resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales.

Entre las principales referencias internacionales se encuentran el **Código JORC**, utilizado principalmente en el contexto australiano y de otros mercados que lo adoptan, y la norma canadiense **NI 43-101**, aplicable a la divulgación pública de información científica y técnica sobre proyectos minerales dentro del marco regulatorio canadiense.

Aunque estos instrumentos tienen alcances y requisitos específicos, ambos destacan la importancia de utilizar información verificable, documentar los procedimientos de muestreo y análisis, evaluar las limitaciones de los datos y evitar interpretaciones que no estén respaldadas por evidencia técnica.

Código JORC

El **Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves**, conocido como Código JORC, establece criterios para la comunicación pública de resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales. Su aplicación se relaciona principalmente con los requisitos de divulgación del mercado australiano y con otras jurisdicciones o entidades que lo reconocen.

El código busca que la información publicada sea transparente, material y presentada por profesionales competentes. Estos principios se conocen como Transparency, Materiality and Competence.

- **Transparencia:** la información debe presentarse con claridad, incluyendo los datos relevantes, las metodologías utilizadas y las limitaciones que puedan influir en su interpretación.
- **Materialidad:** deben incluirse los antecedentes que un inversionista o asesor razonable necesitaría para formarse un juicio fundamentado sobre los resultados divulgados.
- **Competencia:** la información técnica debe contar con la participación y responsabilidad de profesionales que cumplan los requisitos correspondientes del código.

En el contexto del muestreo, estos principios requieren que los datos utilizados para sustentar una interpretación geológica o una estimación de recursos tengan una procedencia conocida y una calidad técnicamente defendible. La ubicación de las muestras, los intervalos evaluados, los métodos de obtención, la recuperación de testigos, los procedimientos de preparación y los resultados analíticos pueden influir en la confiabilidad de las conclusiones.

El código contempla la intervención de una **Persona Competente** (Competent Person), quien debe contar con las cualificaciones y la experiencia pertinentes para el tipo de actividad o depósito considerado y asumir las responsabilidades establecidas por el código. No basta con ocupar un cargo técnico: deben cumplirse los criterios profesionales y de experiencia aplicables.

El personal operativo de muestreo y preparación no determina por sí solo la clasificación de los recursos o las reservas. Su responsabilidad consiste en ejecutar los procedimientos autorizados, registrar los datos correctamente y comunicar cualquier incidencia que pueda afectar la calidad de la información utilizada por los especialistas responsables.

Norma NI 43-101

La **National Instrument 43-101 — Standards of Disclosure for Mineral Projects** es una norma regulatoria canadiense que establece requisitos para divulgar información científica y técnica sobre proyectos minerales sujetos al marco de regulación de valores de Canadá. No es una norma universal aplicable automáticamente a todos los proyectos mineros del mundo.

Su objetivo es que la información divulgada al mercado esté sustentada en datos técnicamente adecuados, sea verificable y cuente con la supervisión o aprobación profesional exigida por la normativa.

Entre sus elementos principales se encuentran:

- **Persona Calificada (Qualified Person, QP):** profesional que cumple los requisitos de formación, experiencia y afiliación profesional establecidos por la norma. Debe asumir las responsabilidades que le correspondan en la preparación, supervisión o aprobación de la información técnica.
- **Verificación de datos:** evaluación de la procedencia, consistencia y confiabilidad de los datos de exploración, muestreo, análisis y pruebas utilizados para sustentar las conclusiones.

- **Informe técnico (Technical Report):** documento estructurado que presenta información relevante sobre un proyecto mineral, incluyendo los trabajos realizados, la geología, los métodos de muestreo, los resultados analíticos y, cuando corresponda, las estimaciones de recursos y reservas.
- **Divulgación de limitaciones:** identificación de factores que puedan afectar la exactitud o confiabilidad de los resultados, como una recuperación deficiente de testigos, sesgos de muestreo o limitaciones en la verificación de datos.

Cuando la norma exige divulgar resultados de muestreo o análisis, la información correspondiente debe incluir los detalles relevantes sobre el tipo y la ubicación de las muestras, los métodos analíticos, los procedimientos de preparación, las medidas de control de calidad y los factores que puedan afectar la interpretación de los resultados.

Para el personal operativo, esto significa que los registros deben permitir reconstruir el recorrido de cada muestra y comprobar cómo se obtuvo, identificó, preparó y envió al laboratorio. Las modificaciones no documentadas, las etiquetas incorrectas y las pérdidas de material pueden comprometer la confiabilidad de los datos utilizados posteriormente en informes técnicos.

Aplicación práctica en el muestreo y la preparación de muestras

JORC y NI 43-101 no sustituyen los procedimientos operativos de la empresa ni constituyen, por sí solos, instrucciones detalladas para ejecutar cada tarea. Su importancia para el personal de muestreo radica en que establecen expectativas sobre la calidad, documentación y confiabilidad de la información que sustenta las evaluaciones de un proyecto mineral.

En las operaciones, estas exigencias se traducen en buenas prácticas concretas:

- **Identificación inequívoca:** cada muestra debe contar con un código que permita relacionarla con su ubicación, intervalo o punto de procedencia.
- **Registro de la toma:** se documentan el método utilizado, las condiciones relevantes y las incidencias que puedan afectar la representatividad.
- **Preparación controlada:** se deben aplicar los procedimientos establecidos para secar, reducir, dividir y pulverizar las muestras, evitando pérdidas y contaminación.
- **Integridad y seguridad:** las muestras deben protegerse frente a mezclas, alteraciones, pérdidas o accesos no autorizados durante su manipulación y transporte.
- **Documentación verificable:** los registros deben ser legibles, coherentes y suficientemente completos para facilitar las revisiones posteriores.
- **Comunicación de desviaciones:** cualquier discrepancia de identificación, pérdida de material, recuperación deficiente o incumplimiento del procedimiento debe comunicarse al responsable correspondiente.

La aplicación de estas prácticas no garantiza por sí sola que un conjunto de datos sea representativo, pero contribuye a identificar problemas, documentar las limitaciones y respaldar las evaluaciones técnicas posteriores.

Alcance para el personal de muestreo

El muestreador y el preparador de muestras deben comprender que la calidad del resultado analítico depende de toda la secuencia de trabajo, desde la selección del material hasta su entrega al laboratorio. Un análisis instrumental correcto no corrige un error cometido durante la toma o preparación de la muestra.

Por ello, el personal debe ejecutar los procedimientos autorizados, respetar los criterios de identificación y registro y evitar cualquier selección o modificación no documentada del material. La validación de los datos, la interpretación geológica y la clasificación de recursos y reservas corresponden a los profesionales responsables, según sus competencias y las exigencias aplicables.

1.5. Seguridad y EPP en zonas de muestreo activo

El muestreo minero se realiza en áreas donde pueden coexistir equipos en movimiento, tránsito de vehículos, caída de rocas, superficies irregulares, polvo, ruido y exposición a condiciones ambientales variables. Por ello, el personal debe reconocer los peligros del entorno, utilizar correctamente los equipos de protección personal (EPP) y cumplir los procedimientos de seguridad establecidos para cada actividad.



La prioridad es prevenir lesiones y evitar que la toma de muestras se realice en condiciones que comprometan la integridad del trabajador. La producción o la necesidad de obtener una muestra nunca justifican intervenir en una zona insegura.

Identificación de peligros en zonas de muestreo

Antes de iniciar el trabajo, el muestreador debe observar las condiciones del área, verificar las restricciones de acceso y reconocer los peligros asociados con la ubicación y el método de muestreo.

Los principales peligros incluyen:

- **Caída de rocas y desprendimientos:** frecuentes en frentes, taludes, labores subterráneas y zonas con material suelto o inestable.
- **Equipos y vehículos en movimiento:** camiones, cargadores, perforadoras, excavadoras y equipos de transporte pueden generar riesgos de atropello, atrapamiento o impacto.
- **Partes móviles de equipos:** fajas transportadoras, poleas, rodillos, chancadoras y otros mecanismos pueden producir atrapamientos y lesiones graves.
- **Proyección de partículas:** durante el desprendimiento de roca, el corte de testigos o la manipulación de material fragmentado.
- **Polvo mineral:** generado por perforación, trituración, transferencia y manipulación de materiales. Dependiendo de su composición, puede contener sílice cristalina respirable u otros componentes peligrosos.
- **Ruido y vibraciones:** procedentes de equipos de perforación, chancado, transporte y herramientas mecánicas.
- **Caídas al mismo nivel o a distinto nivel:** causadas por superficies irregulares, material acumulado, humedad, desniveles o accesos inadecuados.
- **Condiciones ambientales:** calor, radiación solar, lluvias, baja visibilidad y, en labores subterráneas, ventilación insuficiente o atmósferas potencialmente peligrosas.

La evaluación debe considerar tanto los peligros propios de la tarea como los generados por las actividades simultáneas de otras personas o equipos. Una zona que parece segura puede dejar de serlo cuando cambia el tránsito, se inicia una operación o se modifica la estabilidad del terreno.

Evaluación previa y autorización del trabajo

Antes de comenzar, el trabajador debe participar en la identificación de peligros y evaluación de riesgos conforme al sistema de gestión de seguridad de la operación. Según el procedimiento aplicable, esto puede incluir el IPERC continuo, el análisis de trabajo seguro (ATS), permisos de trabajo y coordinación con el supervisor.

La verificación previa debe contemplar:

- **Autorización y acceso:** confirmar que la zona está habilitada para el trabajo y que se cuenta con la autorización requerida.
- **Estado del terreno:** observar la presencia de rocas sueltas, grietas, taludes inestables, material acumulado o condiciones que requieran evaluación especializada.
- **Tránsito y equipos:** identificar rutas de vehículos, puntos ciegos, áreas de maniobra y equipos que puedan interferir con la actividad.
- **Condición operacional:** comprobar que los equipos relacionados con el muestreo se encuentran en condiciones seguras y que se han aplicado los controles establecidos.
- **Comunicación:** conocer al responsable de la tarea, los medios de comunicación disponibles y el procedimiento de respuesta ante emergencias.
- **Condiciones ambientales:** verificar la iluminación, ventilación, presencia de polvo y cualquier condición que pueda exigir controles adicionales.

Si se detecta un peligro no controlado, el trabajador debe detener o no iniciar la actividad, retirarse a una ubicación segura cuando corresponda e informar al supervisor. La tarea solo debe reanudarse cuando se hayan establecido los controles necesarios y se cuente con la autorización correspondiente.

Equipos de protección personal (EPP)

Los EPP reducen la exposición a determinados peligros, pero no sustituyen los controles de ingeniería, las medidas administrativas ni los procedimientos de trabajo seguro. Su selección debe basarse en la evaluación de riesgos de la tarea y en los requisitos de la operación minera.

Los principales equipos utilizados en zonas de muestreo son:

- **Casco de seguridad:** protege frente a determinados impactos y caída de objetos. Debe corresponder al riesgo identificado, mantenerse en buen estado y utilizarse con los accesorios compatibles que requiera la operación.
- **Lentes de seguridad:** protegen los ojos frente a partículas y proyecciones. Cuando exista riesgo de impacto intenso o salpicaduras, se debe utilizar la protección ocular específica establecida para la tarea.
- **Protección auditiva:** tapones u orejeras seleccionados según el nivel de exposición al ruido y el programa de conservación auditiva.
- **Protección respiratoria:** debe seleccionarse de acuerdo con el contaminante, su concentración, las condiciones de exposición y la evaluación de riesgos. Cuando exista sílice cristalina respirable, se requieren controles específicos para reducir la exposición; un respirador no sustituye la ventilación o la captación de polvo cuando estas son necesarias.
- **Gautes de protección:** deben ser compatibles con la tarea, considerando cortes, abrasión, bordes afilados y manipulación de muestras. No deben utilizarse cerca de partes móviles cuando puedan quedar atrapados.
- **Calzado de seguridad:** con características apropiadas para el terreno, el riesgo de impacto y la posibilidad de perforación o deslizamiento.
- **Ropa de trabajo y alta visibilidad:** adecuada al ambiente, al clima y a la visibilidad requerida para trabajar cerca de vehículos y equipos.
- **Protección adicional:** arnés y sistema de protección contra caídas, protección facial u otros equipos cuando la evaluación de riesgos y el procedimiento de trabajo lo exijan.

Antes de ingresar al área, el trabajador debe comprobar que los EPP estén limpios, correctamente ajustados y sin daños que reduzcan su eficacia. Los equipos defectuosos deben retirarse del servicio y reemplazarse. También se deben respetar los requisitos de inspección, limpieza, almacenamiento y cambio definidos por el fabricante y la empresa.

Reglas de seguridad durante el muestreo

Durante la toma de muestras, el trabajador debe mantener una posición estable, utilizar herramientas adecuadas y evitar exponerse innecesariamente a las fuentes de peligro.

Las prácticas esenciales incluyen:

- Mantener una distancia segura de vehículos, equipos móviles, bordes de taludes y zonas de caída de material.
- Respetar las barreras, señalizaciones, rutas peatonales y restricciones de acceso.
- No ubicarse debajo de cargas suspendidas ni dentro de zonas de maniobra.
- Evitar la manipulación manual de cargas que excedan las capacidades seguras del trabajador; utilizar ayudas mecánicas cuando corresponda.
- Mantener el área ordenada, retirar obstáculos cuando sea seguro y evitar dejar herramientas o recipientes en zonas de tránsito.
- No realizar tareas de muestreo sobre fajas transportadoras en movimiento, ni retirar material de tolvas o equipos en operación, salvo que exista un método específicamente diseñado, autorizado y con controles adecuados para esa intervención.
- No retirar guardas, anular dispositivos de seguridad ni introducir las manos o herramientas en equipos en movimiento.
- Suspender el trabajo cuando se pierda la comunicación necesaria, cambien las condiciones del área o fallen los controles previstos.

Cuando se requiera intervenir en equipos para limpieza, desatoro, inspección o mantenimiento, deben aplicarse los procedimientos autorizados de aislamiento de energías peligrosas y bloqueo y etiquetado, conocidos habitualmente como **LOTO** (Lockout/Tagout). La detención del equipo mediante sus controles normales no garantiza por sí sola que todas las fuentes de energía estén aisladas.

La toma de muestras debe realizarse desde posiciones y puntos previamente definidos. No se debe improvisar un acceso, trepar sobre acopios inestables ni ingresar en tolvas, silos o espacios confinados sin autorización, evaluación específica y cumplimiento del procedimiento correspondiente.

Control de la exposición a polvo y otros agentes

El polvo generado durante la perforación, el chancado, el tamizado y la manipulación de minerales puede afectar la salud respiratoria. El riesgo depende de la composición del material, el tamaño de las partículas, la concentración en el aire y el tiempo de exposición.

Las medidas preventivas incluyen:

- Utilizar sistemas de **captación localizada, extracción y ventilación** cuando estén previstos para el proceso.
- Mantener cerradas las cubiertas de los equipos y evitar la dispersión de polvo durante la carga, descarga y transferencia de material.
- Aplicar métodos de supresión de polvo compatibles con el procedimiento y con los requisitos de la muestra. La humectación no debe utilizarse cuando pueda alterar el material o comprometer el análisis.
- Evitar barrer en seco o utilizar aire comprimido para limpiar polvo mineral cuando estas prácticas puedan dispersar contaminantes.
- Respetar los controles de exposición al ruido y utilizar la protección auditiva indicada.
- Cumplir los programas de vigilancia de la salud ocupacional y las evaluaciones de exposición que correspondan.

Si falla la extracción de polvo, se produce una emisión anormal o se detecta una condición que pueda superar los controles establecidos, el trabajador debe informar al responsable y detener la actividad cuando exista un riesgo no controlado.

Comunicación de incidentes y respuesta ante emergencias

Todo accidente, incidente, condición insegura o falla de un control preventivo debe comunicarse oportunamente conforme al procedimiento de la operación. También deben informarse los casi accidentes, como el paso inesperado de un vehículo cerca del punto de muestreo o la caída de fragmentos sin causar lesiones.

Ante una emergencia, el trabajador debe:

1. Suspender la actividad y alejarse del peligro cuando sea posible hacerlo con seguridad.
2. Alertar al personal cercano y comunicar la situación por los medios establecidos.
3. Activar el procedimiento de emergencia y solicitar ayuda al personal autorizado.
4. No ingresar en una zona peligrosa para rescatar a otra persona sin contar con la capacitación, los equipos y la autorización necesarios.
5. Informar sobre las condiciones observadas y colaborar con la investigación conforme a sus responsabilidades.

La reanudación del trabajo debe realizarse después de controlar el peligro y obtener la autorización correspondiente.

Referencias de seguridad aplicables en Perú

Las actividades de muestreo en operaciones mineras deben desarrollarse de acuerdo con el **Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería**, aprobado por el D.S. N.º 024-2016-EM y sus modificatorias, así como con las disposiciones aplicables de la Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, y su reglamento.

La aplicación concreta depende del tipo de operación, la actividad realizada y las disposiciones vigentes. La empresa debe establecer procedimientos, capacitación, evaluación de riesgos, controles operacionales y requisitos de EPP acordes con esas obligaciones.

El trabajador debe conocer los procedimientos que corresponden a su puesto y cumplir las instrucciones de seguridad de la operación. La identificación temprana de peligros, el uso correcto de los EPP y la comunicación de condiciones anormales son responsabilidades esenciales para realizar el muestreo sin exponer innecesariamente a las personas.

Módulo 2: Técnicas de Muestreo en Campo

2.1. Muestreo de mineral en tajos y frentes de explotación

El muestreo de mineral en tajos y frentes de explotación permite obtener información sobre la ley, la distribución de la mineralización y las características del material extraído durante las operaciones mineras. Los resultados pueden utilizarse para el control de leyes, la delimitación de zonas mineralizadas, la planificación de la extracción y la evaluación de la calidad del mineral enviado a planta.

La confiabilidad de los resultados depende de la selección adecuada de los puntos de muestreo, la aplicación uniforme del método, la recuperación del material extraído y el registro de las condiciones de campo. Una muestra visualmente rica o tomada de una zona accesible no representa necesariamente el conjunto del material.

Características de las zonas de muestreo

El término **tajo** se utiliza para diferentes tipos de excavaciones mineras, tanto en explotaciones a cielo abierto como en determinados contextos subterráneos. El **frente de explotación** es la superficie activa donde se realiza el arranque del material. Las condiciones de muestreo varían según el método de explotación, la geometría del cuerpo mineralizado y el estado operativo del área.

En minería a cielo abierto, el muestreo puede realizarse en frentes de banco, superficies expuestas y zonas seleccionadas de material fragmentado. En minería subterránea, puede efectuarse en frentes de avance, paredes de labores, tajos y otras superficies autorizadas.

Antes de seleccionar el punto de toma, se deben reconocer:

- **Geometría de la mineralización:** orientación, espesor, continuidad y relación con la roca encajonante.
- **Variación geológica:** cambios de litología, alteración, estructura y distribución visible de los minerales.
- **Estado del material:** roca intacta, fracturada, fragmentada, húmeda o mezclada con material de diferente procedencia.
- **Condiciones de acceso:** estabilidad de la superficie, presencia de equipos, tránsito, visibilidad y restricciones de seguridad.
- **Objetivo del muestreo:** control de leyes, evaluación geológica, delimitación de mineralización o caracterización de material destinado al proceso.

La selección debe seguir el plan de muestreo y las instrucciones del responsable técnico. No corresponde modificar unilateralmente la ubicación o el método de toma para obtener resultados aparentemente mejores.

Preparación del punto de muestreo

Antes de extraer material, se verifica la identificación de la zona y se confirma que el trabajo está autorizado. El área debe evaluarse para detectar roca suelta, riesgo de caída de material, equipos en movimiento, superficies inestables y otros peligros.

Cuando las condiciones lo permitan, se identifica y delimita la superficie o el tramo que se va a muestrear. Deben registrarse su ubicación y orientación, así como la relación con estructuras geológicas o límites de mineralización relevantes.

La limpieza superficial debe realizarse únicamente cuando esté prevista en el procedimiento y pueda ejecutarse de forma segura. Su finalidad es evitar que polvo acumulado, fragmentos desprendidos previamente, material caído o residuos ajenos al tramo seleccionado contaminen la muestra. No debe eliminarse selectivamente material mineralizado ni descartarse la fracción fina que forma parte de la muestra.

Si la superficie presenta inestabilidad, existe riesgo de desprendimientos o no se puede acceder de manera segura, se debe suspender la actividad e informar al supervisor. El muestreo nunca debe justificar la exposición a una condición peligrosa.

Muestreo mediante canales

El **muestreo por canales** se utiliza cuando se necesita evaluar la mineralización a lo largo de una superficie expuesta, como una pared de labor, un frente o una zona mineralizada accesible. Consiste en extraer una franja de material siguiendo una trayectoria definida, con dimensiones establecidas según el protocolo del proyecto.

El procedimiento general comprende:

1. **Delimitar el canal:** establecer sus extremos, orientación, longitud y sección conforme al diseño de muestreo.
2. **Verificar la trayectoria:** cuando el objetivo es evaluar el espesor de una estructura mineralizada, el canal debe orientarse de forma que permita atravesarla adecuadamente, normalmente lo más perpendicular posible a su dirección o rumbo aparente.
3. **Extraer el material:** utilizar herramientas apropiadas y mantener una extracción uniforme a lo largo del recorrido. No se deben seleccionar solamente los fragmentos con mayor contenido mineral visible.
4. **Recuperar la muestra:** recoger el material desprendido, incluidos los finos, evitando pérdidas, contaminación con material del entorno y mezclas con otros intervalos.
5. **Identificar el intervalo:** asignar el código correspondiente y registrar la ubicación, la longitud, las características del tramo y cualquier incidencia relevante.

La sección del canal y la cantidad de material obtenida deben ser coherentes con el procedimiento establecido. No existe una dimensión única válida para todos los tipos de roca y mineralización. La dureza, la granulometría, la distribución de la mena y la geometría de la estructura influyen en la selección del método.

Cuando la mineralización cambia a lo largo del frente, los intervalos deben definirse de acuerdo con el protocolo geológico. No se deben combinar arbitrariamente tramos con características diferentes, ya que ello puede ocultar variaciones importantes de ley.

El canal debe representar el material del intervalo definido, no solamente la superficie más rica o más fácil de extraer. Si hay zonas de roca estéril que forman parte del intervalo que se pretende evaluar, su tratamiento debe seguir los criterios del programa de muestreo.

Muestreo de material fragmentado

En determinadas operaciones, la muestra se obtiene de mineral previamente fragmentado por voladura o por otras actividades de arranque. Este material puede presentar una distribución heterogénea de tamaños, segregación de partículas y variaciones locales de ley.

El principal desafío consiste en evitar que la selección de fragmentos introduzca un sesgo. Las partículas gruesas pueden concentrar determinados minerales, mientras que los finos pueden presentar una composición diferente. Por ello, una muestra compuesta únicamente por fragmentos grandes o visualmente mineralizados puede no representar el conjunto.

Durante el muestreo se deben considerar las siguientes prácticas:

- Seleccionar los puntos de acuerdo con el plan establecido, evitando concentrarlos únicamente en zonas accesibles o visualmente atractivas.
- Aplicar un procedimiento uniforme de recolección de incrementos.
- Evitar excluir finos, fragmentos pequeños o material de apariencia menos mineralizada cuando forman parte de la población que se desea representar.
- Utilizar recipientes adecuados y mantener separados los materiales procedentes de diferentes puntos o intervalos.
- Registrar si el material estaba recién fragmentado, mezclado, húmedo o sujeto a segregación.

Cuando se requiere caracterizar un lote de mineral fragmentado, una toma aislada puede ser insuficiente. El número, la distribución y la masa de los incrementos deben definirse conforme a la heterogeneidad del material y al objetivo del muestreo.

No se debe recoger material de una pila inestable, introducirse debajo de fragmentos suspendidos ni acercarse a equipos de carguío en operación sin autorización y controles específicos.

Herramientas y equipos de muestreo

La selección de herramientas depende de la dureza de la roca, el método de extracción y las condiciones del área. Entre los elementos que pueden utilizarse se encuentran:

- **Martillo geológico y cincel:** para extraer pequeñas cantidades de roca en superficies autorizadas, cuando el procedimiento lo permita.
- **Herramientas de extracción mecánica:** equipos apropiados para retirar material de roca competente, siempre que su uso esté autorizado y controlado.

- **Bandejas, lonas y recipientes de recolección:** ayudan a recuperar el material desprendido y reducir las pérdidas.
- **Bolsas resistentes y etiquetas:** permiten conservar e identificar las muestras durante su traslado.
- **Instrumentos de medición y registro:** cinta métrica, marcadores, brújula u otros dispositivos requeridos para documentar la ubicación y las dimensiones del intervalo.

Las herramientas deben mantenerse limpias y en condiciones adecuadas. Antes de cambiar de punto o procesar una muestra diferente, se deben retirar los residuos que puedan provocar contaminación cruzada.

El uso de herramientas eléctricas o neumáticas requiere personal autorizado, inspección previa, protección adecuada y aplicación de los controles establecidos para el equipo. No se deben utilizar herramientas improvisadas ni trabajar sobre superficies inestables.

Errores frecuentes y medidas preventivas

Los errores de muestreo pueden alterar la ley estimada y conducir a decisiones incorrectas sobre la extracción o el destino del mineral. Entre los más frecuentes se encuentran:

- **Selección visual:** tomar preferentemente material de alto contenido mineral aparente y excluir material de menor ley.
- **Muestreo irregular:** variar la trayectoria, las dimensiones o la intensidad de extracción sin justificación técnica.
- **Pérdida de finos:** dejar fuera partículas pequeñas que forman parte del material seleccionado.
- **Contaminación:** incorporar fragmentos de roca encajonante, material de otro intervalo, residuos de herramientas o restos de muestras anteriores.
- **Identificación incorrecta:** asignar códigos equivocados o perder la relación entre la muestra y su ubicación original.
- **Mezcla de intervalos:** combinar materiales que debían conservarse separados.
- **Registro incompleto:** omitir la orientación, la ubicación, las condiciones del material o las incidencias que afectan la interpretación.

La prevención exige seguir el procedimiento aprobado, mantener criterios uniformes de selección, recuperar el material desprendido y verificar la identificación antes de cerrar cada bolsa. Si ocurre una pérdida, una mezcla accidental o una desviación significativa, se debe registrar el hecho y comunicarlo al responsable técnico. No se deben ocultar las incidencias ni modificar los datos para hacerlos coincidir con resultados esperados.

Registro y entrega de las muestras

Cada muestra debe mantener una relación verificable con su punto de origen. El registro de campo debe incluir, según los requisitos del proyecto:

- Código único de la muestra y código de la labor, frente o tajo.
- Ubicación, coordenadas o referencia espacial disponible.
- Tipo de muestra y método de obtención.
- Intervalo, longitud u otras dimensiones pertinentes.

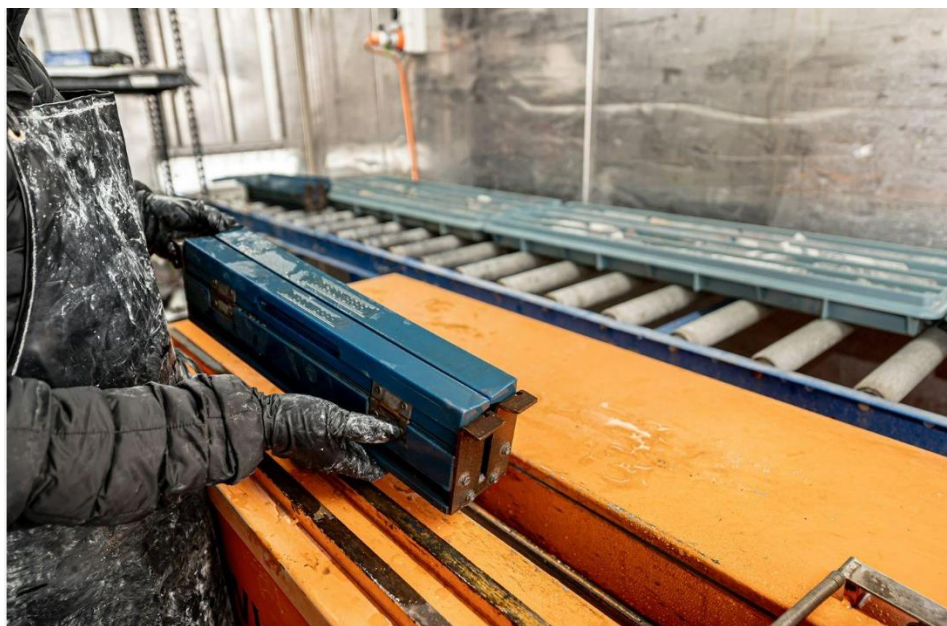
- Descripción geológica y observaciones sobre el estado del material.
- Fecha, responsable del muestreo e incidencias.
- Identificación del recipiente y destino de la muestra.

Antes de la entrega, se verifica que las etiquetas y los registros coincidan, que las bolsas estén cerradas y que no existan señales de pérdida o mezcla. Las muestras deben trasladarse conforme al procedimiento de la operación, conservando su identificación y evitando daños durante el transporte.

La información de campo debe ser suficientemente clara para que el personal geológico y el laboratorio puedan reconocer la procedencia de cada muestra y evaluar las limitaciones que puedan afectar los resultados.

2.2. Muestreo de core de perforación diamantina

El **testigo de perforación diamantina** (core) es una muestra cilíndrica de roca recuperada mediante perforación con corona diamantada y un sistema de barril portatestigos. Se utiliza en exploración y evaluación minera para estudiar la litología, la mineralización, las alteraciones, las estructuras geológicas y la distribución de leyes en profundidad.



El muestreo del testigo debe conservar la relación entre cada muestra y su intervalo original de perforación. Una identificación incorrecta, la pérdida de fragmentos o una selección inadecuada pueden comprometer los resultados analíticos y las interpretaciones geológicas posteriores.

Recepción y organización de los testigos

Al llegar las cajas de testigos al área de registro, se debe comprobar que correspondan al sondaje indicado y que mantengan el orden de recuperación. Cada caja debe presentar la identificación del proyecto, el código del sondaje y los intervalos de profundidad correspondientes, conforme al sistema utilizado por la empresa.

El personal debe verificar:

- **Identificación del sondaje:** código del taladro y correspondencia con los documentos de perforación.
- **Secuencia de las cajas:** orden correcto de las corridas y continuidad de los intervalos.
- **Marcas de profundidad:** posición de los tacos o separadores que identifican los metros perforados.
- **Estado del testigo:** presencia de fracturas, fragmentación, zonas trituradas, pérdida de material o contaminación visible.
- **Condiciones de almacenamiento:** estabilidad de las cajas y protección frente a pérdidas, mezclas o alteraciones.

Las discrepancias entre las marcas de profundidad, los registros y la disposición del testigo deben comunicarse al responsable geológico. No se deben reconstruir intervalos por suposición ni modificar las marcas para corregir una inconsistencia sin autorización.

Flujo de trabajo con testigos de perforación diamantina



Recuperación del testigo y registro geológico

La **recuperación del testigo** expresa la relación entre la longitud recuperada y la longitud perforada durante una corrida. Se calcula generalmente mediante:

$$\text{Recuperación (\%)} = (\text{Longitud recuperada} / \text{Longitud perforada}) \times 100$$

Por ejemplo, si durante una corrida de 1,50 m se recuperan 1,35 m de testigo, la recuperación es del 90 %. Este indicador permite identificar pérdidas de material y valorar las limitaciones del intervalo. Una recuperación elevada no garantiza por sí sola que la muestra sea representativa, ni una recuperación baja determina automáticamente que todo el intervalo sea inutilizable.

Antes del corte, el testigo se registra geológicamente de acuerdo con el procedimiento del proyecto. La descripción puede incluir litología, alteración, mineralización, estructuras, fracturas y otras características relevantes. Cuando se realizan mediciones de orientación, estas deben documentarse conforme al protocolo aplicable.

El registro debe efectuarse antes de que el corte o la preparación alteren las características originales que necesita observar el geólogo. El personal operativo debe preservar las marcas, los límites de intervalo y la disposición de los fragmentos, sin sustituir las decisiones de interpretación geológica que corresponden al profesional responsable.

Delimitación de los intervalos de muestreo

Los testigos no se muestrean necesariamente en tramos de longitud fija. Los intervalos se establecen conforme al protocolo geológico, la continuidad de la mineralización, los cambios litológicos y estructurales, y los objetivos de evaluación.

Para delimitar correctamente los intervalos se deben respetar los siguientes criterios:

- **Límites documentados:** cada intervalo debe tener una profundidad inicial y final claramente identificada.
- **Cambios geológicos:** los contactos relevantes entre litologías o zonas mineralizadas deben considerarse según las instrucciones del responsable geológico.
- **Continuidad de la muestra:** los fragmentos correspondientes al mismo intervalo deben mantenerse agrupados y no mezclarse con material de otros tramos.
- **Trazabilidad:** cada intervalo debe relacionarse con un código de muestra único y con los registros del sondaje.
- **Excepciones:** las zonas con recuperación deficiente, material triturado o pérdida de testigo deben documentarse antes de continuar.

No se deben modificar los límites únicamente para obtener una masa más conveniente o para incluir visualmente más mineralización. Cuando sea necesario ajustar un intervalo, la decisión debe estar respaldada por el procedimiento del proyecto y quedar documentada.

Corte y selección de la muestra

Cuando el protocolo del proyecto establece el corte longitudinal, el testigo se divide en dos partes mediante una cortadora diseñada para roca. Habitualmente, una fracción se envía al laboratorio y la otra se conserva como testigo remanente para revisión o análisis posteriores, según las instrucciones del proyecto.

La división debe procurar que la fracción seleccionada represente adecuadamente el intervalo original. Para ello, es importante:

- **Marcar la línea de corte:** seguir la orientación definida por el procedimiento y, cuando corresponda, las indicaciones geológicas sobre estructuras o mineralización.
- **Utilizar una cortadora apropiada:** verificar el estado de la hoja, las protecciones, el sistema de refrigeración y los dispositivos de seguridad.
- **Mantener la limpieza:** evitar que residuos de cortes anteriores contaminen el siguiente intervalo.

- **Recuperar todos los fragmentos:** recoger el material desprendido durante el corte y asignarlo al intervalo correcto.
- **Conservar el remanente:** colocarlo ordenadamente en la caja original o en el sistema de almacenamiento definido, manteniendo las marcas de profundidad y la identificación.

No todos los testigos se dividen de la misma manera. La selección puede variar en función de la competencia de la roca, su grado de fragmentación, la distribución de la mineralización y el protocolo establecido. El operador no debe decidir por su cuenta qué mitad conservar ni descartar fragmentos por su apariencia.

Cuando el testigo está muy fracturado o triturado, se deben aplicar las instrucciones específicas del proyecto para evitar una división selectiva o una pérdida importante de material. Si no es posible mantener la integridad del intervalo, se debe informar al responsable.

Control de contaminación y pérdida de material

La contaminación cruzada ocurre cuando partículas procedentes de una muestra anterior, herramientas, superficies o equipos se incorporan a otra muestra. En testigos mineralizados, incluso una contaminación localizada puede alterar la ley medida, especialmente cuando existe una diferencia importante entre las leyes de los intervalos consecutivos.

Las medidas preventivas incluyen:

- Limpiar la cortadora y las superficies de trabajo conforme al procedimiento establecido.
- Retirar los residuos acumulados en bandejas, soportes y recipientes.
- Evitar el contacto de muestras diferentes en zonas de trabajo compartidas.
- Mantener identificados los fragmentos de cada intervalo durante el corte y la recolección.
- Verificar que no queden restos de una muestra anterior adheridos a los equipos.
- Comunicar cualquier pérdida, mezcla accidental o error de identificación.

El uso de agua durante el corte debe ajustarse al diseño del equipo y al procedimiento de trabajo. Se debe evitar que el agua de corte arrastre material de un intervalo a otro o provoque pérdidas de partículas finas. Los sistemas de recolección y limpieza deben mantenerse en condiciones adecuadas.

Si se sospecha contaminación o pérdida de material, la incidencia debe documentarse y comunicarse antes de enviar la muestra al laboratorio. No se debe completar una bolsa con fragmentos de procedencia desconocida para alcanzar la masa esperada.

Embalaje, identificación y envío al laboratorio

Después del corte, la fracción seleccionada se coloca en una bolsa resistente o en el recipiente especificado por el proyecto. La etiqueta debe permitir identificar la muestra sin depender únicamente de la escritura exterior de la bolsa.

El registro de cada muestra debe incluir, según los requisitos del programa:

- Código único de muestra y código del sondeo.
- Profundidad inicial y final del intervalo.
- Tipo de material y observaciones relevantes.
- Identificación de la caja de origen y del testigo remanente, cuando corresponda.
- Fecha de muestreo, responsable y cualquier incidencia registrada.
- Destino de la muestra y documentación de entrega.

Antes del despacho, se debe comprobar la concordancia entre las etiquetas, las bolsas y la relación de muestras enviada al laboratorio. Las bolsas deben estar cerradas y protegidas contra pérdidas, roturas y mezclas durante el transporte.

La entrega debe seguir el procedimiento de trazabilidad del proyecto, de modo que cualquier muestra pueda relacionarse con su ubicación original y con los registros geológicos correspondientes.

Seguridad durante el manejo y corte de testigos

El trabajo con testigos implica riesgos asociados con la manipulación de cajas pesadas, bordes de roca, herramientas de corte, partículas proyectadas, ruido y exposición al polvo generado durante determinadas operaciones.

Las medidas esenciales son:

- Utilizar los EPP definidos para la tarea y comprobar su estado antes de comenzar.
- Aplicar técnicas seguras de levantamiento y utilizar ayudas mecánicas cuando el peso o las dimensiones de las cajas lo requieran.
- Mantener las manos alejadas de la hoja de corte y de las partes móviles.
- No retirar protecciones ni realizar ajustes o limpieza de la cortadora mientras existan condiciones peligrosas.
- Aplicar el procedimiento de aislamiento de energías antes de realizar intervenciones que lo requieran.
- Mantener el área ordenada, con iluminación adecuada y superficies de trabajo estables.
- Controlar el polvo, el ruido y las salpicaduras mediante los sistemas de protección previstos.

El operador debe detener el trabajo si detecta una protección defectuosa, una condición insegura o una falla del equipo. La actividad solo debe reanudarse cuando se hayan restablecido las condiciones seguras.

2.3 Muestreo de pilas (stockpiles) y fajas transportadoras

Muestreo de pilas de mineral

El muestreo de pilas de mineral (stockpiles) permite estimar la ley, la humedad y otras características del material acumulado antes de su procesamiento, despacho o

comercialización. Se aplica a minerales extraídos, mineral triturado, productos intermedios y lotes almacenados en patios o zonas de acopio.

La principal dificultad es obtener una muestra representativa de un volumen que puede presentar diferencias importantes entre sectores. Durante la descarga, el transporte y la acumulación, las partículas se segregan según su tamaño, densidad y trayectoria. Por ello, la superficie visible de una pila no necesariamente representa la composición del conjunto.



Factores que afectan la representatividad

- Segregación granulométrica: las partículas gruesas y finas pueden concentrarse en zonas diferentes de la pila.
- Distribución irregular de la ley: el mineral puede proceder de distintos frentes, bancos o lotes con características diferentes.
- Heterogeneidad del material: la presencia de fragmentos de distintos tamaños, minerales y proporciones de ganga dificulta obtener una muestra uniforme.
- Humedad variable: la lluvia, el drenaje y las condiciones de almacenamiento pueden producir diferencias entre la superficie y el interior.
- Accesibilidad limitada: las zonas internas o inferiores pueden ser difíciles de alcanzar sin equipos apropiados.
- Contaminación externa: el contacto con suelo, material de otras pilas, residuos o equipos puede alterar la muestra.

La estrategia de muestreo debe considerar estas condiciones y el objetivo del control. No es equivalente muestrear una pila para control operativo, determinar la ley de un lote comercial o realizar una evaluación geológica.

Preparación y delimitación del lote

Antes de recolectar material, se debe identificar la pila y confirmar su procedencia, tipo de mineral, fecha de acumulación y destino. Cuando existan varios lotes o materiales de diferentes orígenes, deben mantenerse separados y correctamente identificados.

Es necesario registrar, cuando se disponga de la información, el tonelaje estimado, la granulometría, el estado de humedad y el método de formación de la pila. También se debe comprobar si el material fue mezclado o si recibió aportes de distintas procedencias.

La selección de los puntos de muestreo debe responder a un procedimiento previamente establecido. Elegir únicamente las zonas más accesibles o aquellas donde el mineral parece más fino puede introducir un sesgo de selección.

Métodos de muestreo de pilas

Muestreo superficial. Consiste en recolectar material de diferentes sectores accesibles de la superficie. Puede utilizarse para controles preliminares o verificaciones operativas, pero tiene limitaciones importantes: no permite representar de manera confiable el interior de una pila heterogénea si no existe un diseño que justifique su uso.

Muestreo por incrementos distribuidos. Se obtiene una serie de incrementos en posiciones definidas según un patrón de muestreo. Los puntos deben distribuirse de forma que no se concentren únicamente en una zona o en un tipo de material. La cantidad y ubicación de los incrementos dependen del tamaño del lote, su heterogeneidad, la granulometría y la precisión requerida.

Muestreo durante la formación o descarga de la pila. Cuando es posible controlar el flujo del material, se pueden recolectar incrementos en diferentes momentos de la descarga o durante la transferencia entre equipos. Esta alternativa puede facilitar una mejor cobertura del lote que la toma exclusiva de muestras superficiales, siempre que el procedimiento contemple el flujo completo y evite la selección de partículas.

Muestreo de secciones o perfiles accesibles. En determinadas operaciones, se pueden obtener incrementos de diferentes posiciones de un perfil preparado mediante procedimientos seguros. La selección debe contemplar las variaciones entre sectores y profundidades. No se debe ingresar bajo taludes inestables ni excavar manualmente una pila que pueda colapsar.

El uso de calicatas, excavaciones o maquinaria para acceder al interior de una pila requiere autorización, evaluación de riesgos y un procedimiento específico. No debe improvisarse para obtener una muestra.

Procedimiento operativo

1. Identificar el lote. Confirmar el código, la procedencia, el material y el objetivo del muestreo.
2. Revisar las condiciones del área. Evaluar estabilidad de la pila, circulación de equipos, presencia de polvo, humedad y posibles contaminantes.

3. Definir el patrón de muestreo. Establecer los sectores, ubicaciones y número de incrementos conforme al procedimiento aplicable.
4. Preparar las herramientas. Verificar que estén limpias y sean apropiadas para el tamaño de partícula y las características del material.
5. Recolectar los incrementos. Aplicar el patrón definido y evitar seleccionar partículas por tamaño, color, apariencia o facilidad de extracción.
6. Formar la muestra compuesta, si corresponde. Combinar los incrementos del mismo lote en las proporciones establecidas por el procedimiento.
7. Homogeneizar y reducir la muestra. Aplicar el método de preparación y división correspondiente, evitando pérdidas de finos o separación de partículas gruesas.
8. Envasar e identificar. Utilizar recipientes o bolsas adecuados, cerrar correctamente y registrar el código de la muestra.
9. Documentar la actividad. Registrar ubicación, fecha, responsable, método utilizado, incidencias y cualquier condición que pueda afectar la representatividad.

La muestra compuesta debe conservar la relación prevista entre los incrementos. No se debe agregar material de lotes distintos sin autorización, ni retirar partículas gruesas para facilitar el transporte. Si el volumen recolectado es excesivo, la reducción debe realizarse mediante un procedimiento adecuado, no mediante una selección manual arbitraria.

Muestreo en fajas transportadoras

El muestreo de fajas transportadoras permite obtener muestras del mineral durante su desplazamiento entre las etapas de extracción, chancado, clasificación, almacenamiento y procesamiento. Es especialmente útil para controlar la calidad del material que alimenta una planta, verificar la ley de un lote o evaluar las variaciones de composición durante una operación.

La representatividad depende de que los incrementos recolectados reflejen el material que circula por la faja. Tomar pequeñas porciones de un solo borde o recoger únicamente las partículas superficiales puede producir resultados sesgados, debido a la segregación granulométrica y a la distribución desigual de los componentes del mineral.

Métodos de muestreo en fajas

Muestreo de la corriente de material. Consiste en recolectar incrementos del flujo de mineral en un punto donde el material cae o se transfiere de un equipo a otro. Cuando se utiliza un cortador mecánico, este debe atravesar toda la sección de la corriente con una trayectoria y velocidad apropiadas para evitar pérdidas o selección de partículas.

Muestreador automático de faja. Es un sistema instalado en un punto de transferencia que recolecta incrementos de forma periódica o según un programa establecido. El diseño del cortador, la abertura, la velocidad de desplazamiento y la frecuencia de toma deben ser compatibles con la granulometría y las características del flujo. Un equipo mal diseñado puede excluir partículas gruesas o perder material fino.

Muestreo de material sobre una faja detenida. Se realiza cuando existe un procedimiento autorizado para detener y asegurar el equipo. Debe delimitarse una sección transversal completa del material, evitando tomar solo la parte superior o los bordes. El método requiere

controlar el riesgo mecánico y garantizar que la muestra recolectada corresponda al volumen definido.

La toma manual directamente de una faja en movimiento no debe improvisarse. El muestreo debe realizarse mediante equipos diseñados para esa función o bajo un procedimiento específico que garantice condiciones seguras. Nunca se deben introducir manos, palas u otras herramientas cerca de rodillos, poleas o puntos de atrapamiento.

Procedimiento de muestreo en faja

1. Identificar el punto de muestreo. Confirmar qué flujo representa y qué etapa del proceso se desea controlar.
2. Verificar las condiciones operativas. Comprobar el estado del equipo, la estabilidad del flujo y las condiciones de acceso.
3. Definir la frecuencia de muestreo. Establecer cuándo y cuántos incrementos se recolectarán, de acuerdo con el tonelaje, la variabilidad del material y el objetivo del control.
4. Comprobar el sistema de recolección. Verificar que el cortador o dispositivo cubra toda la sección prevista y no pierda partículas.
5. Recolectar los incrementos. Mantener el procedimiento establecido durante todo el periodo o lote de interés, sin seleccionar material por apariencia.
6. Formar la muestra compuesta. Combinar los incrementos correspondientes al mismo lote, respetando las proporciones y condiciones definidas.
7. Identificar y registrar. Anotar el código del lote, punto de toma, fecha, turno, responsable, intervalo de muestreo y observaciones operativas.
8. Enviar la muestra a preparación. Asegurar el envasado, la identificación y la entrega conforme al procedimiento de la operación.

Cuando el muestreo se realiza durante un periodo de operación, la distribución temporal de los incrementos debe evitar que una parte del lote quede sobrerrepresentada. Si el flujo varía significativamente, un programa basado únicamente en intervalos de tiempo puede requerir ajustes para representar adecuadamente el tonelaje procesado.

Factores críticos de control

En ambos métodos, la calidad del muestreo depende de las siguientes condiciones:

- Tamaño máximo de partícula: influye en la abertura del cortador, las herramientas y la masa mínima necesaria para obtener una muestra adecuada.
- Masa de los incrementos: debe ser suficiente y consistente con el diseño de muestreo. Las porciones demasiado pequeñas pueden excluir partículas gruesas relevantes.
- Frecuencia y distribución: deben cubrir las variaciones del lote y del proceso.
- Pérdida de finos: el polvo y las partículas pequeñas pueden modificar la composición si no se recolectan correctamente.
- Contaminación cruzada: los restos de otros minerales en herramientas, recipientes o equipos pueden alterar los resultados.
- Humedad: debe evitarse la pérdida de agua o de material fino cuando estas condiciones afectan el objetivo del análisis.

- Identificación: cada muestra debe conservar su relación con el lote y el punto de procedencia.

La masa total de una muestra compuesta no garantiza por sí sola su representatividad. Una muestra grande obtenida exclusivamente de una zona de la pila o de un solo momento del flujo puede ser menos representativa que una muestra diseñada correctamente mediante incrementos distribuidos.

Diferencias operativas entre pilas y fajas

Aspecto	Pilas de mineral	Fajas transportadoras
Principal dificultad	Segregación espacial y acceso limitado	Variación del flujo y cobertura incompleta de la corriente
Distribución de incrementos	Por sectores o posiciones definidas	A lo largo del tiempo o mediante cortes de la corriente
Método preferible cuando es viable	Muestreo planificado de incrementos distribuidos	Cortador mecánico que abarque toda la sección del flujo
Riesgo característico	Inestabilidad de taludes y maquinaria móvil	Atrapamiento en elementos móviles
Control esencial	Evitar el sesgo por ubicación	Evitar la selección y pérdida de partículas

Registro y evaluación de resultados

Cada actividad debe documentarse de modo que permita reconstruir cómo se obtuvo la muestra. El registro debe incluir el código del lote, la ubicación o punto de transferencia, el método aplicado, la fecha, el responsable, las condiciones relevantes y cualquier desviación del procedimiento.

Si los resultados presentan diferencias inesperadas respecto de controles anteriores, no debe concluirse inmediatamente que cambió la ley del mineral. Primero se deben revisar la representatividad, la distribución de los incrementos, la identificación, las posibles pérdidas de material y la contaminación cruzada. Cuando corresponda, se realizará un nuevo muestreo mediante un procedimiento autorizado.

La elección entre muestrear una pila o una faja depende del objetivo operativo, la accesibilidad, el diseño de la instalación y la precisión requerida. En todos los casos, el método debe definirse antes de recolectar la muestra, y sus limitaciones deben quedar registradas para interpretar correctamente los resultados analíticos.

2.4 Muestreo de relaves y colas de proceso

Características de los relaves y colas de proceso

Los relaves son los residuos sólidos y líquidos generados después de separar los minerales de interés durante el procesamiento del mineral. Pueden contener partículas finas, agua de proceso, minerales de ganga y cantidades variables de metales que no fueron recuperados. Su composición depende de las características del mineral alimentado, la granulometría, los reactivos utilizados y las condiciones de operación de la planta.

El muestreo de relaves permite evaluar la eficiencia de recuperación, controlar las pérdidas de metales, caracterizar el material depositado y obtener información para estudios ambientales y de gestión de depósitos. En operaciones mineras, también puede utilizarse para comparar resultados entre turnos, circuitos o periodos de procesamiento.

Las colas de proceso son las corrientes de material que quedan después de una etapa de separación. Según el circuito, pueden generarse después de la flotación, la concentración gravimétrica, la lixiviación u otras operaciones. Por tanto, no todas las colas tienen la misma composición ni las mismas características físicas o químicas.

Antes de tomar una muestra, se debe precisar qué corriente se desea evaluar y cuál es el objetivo del análisis. Una muestra destinada a determinar la ley de relaves finales no debe confundirse con una muestra de colas intermedias, ya que estas corresponden a etapas distintas del proceso.

Propiedades que condicionan el muestreo

- Granulometría: los relaves suelen contener partículas finas, aunque la distribución de tamaños depende del proceso. Las partículas gruesas y finas pueden comportarse de manera diferente durante el transporte y la sedimentación.
- Contenido de sólidos: la proporción entre sólidos y líquido afecta la concentración de los componentes y la cantidad de material que se debe recolectar.
- Sedimentación: las partículas pueden depositarse a velocidades distintas, generando variaciones de composición entre la parte superior y el fondo.
- Heterogeneidad química: la distribución de metales y minerales residuales puede ser irregular, incluso dentro de una misma corriente.
- Variación temporal: cambios en la alimentación, la dosificación de reactivos, el caudal o las condiciones de separación pueden modificar la composición de las colas.
- Humedad y agua de proceso: el líquido puede contener sustancias disueltas que no quedan representadas adecuadamente si se analiza únicamente el sólido.

Estas características determinan si se requiere una muestra de pulpa completa, una muestra de sólidos sedimentados o una muestra de agua asociada. Cada una responde a una pregunta analítica diferente.

Muestreo de relaves en pulpa

La pulpa de relaves es una mezcla de partículas sólidas y líquido que se transporta por tuberías, canales o conductos. Para evaluar su composición, la muestra debe representar tanto las partículas como las condiciones de la corriente en el momento de la toma.

Cuando el objetivo es determinar la ley de los sólidos, debe conocerse cómo se separará y preparará la fracción sólida para el análisis. Si también se requiere evaluar el agua de proceso, se debe establecer un procedimiento específico para recolectar y conservar la fase líquida.

Procedimiento operativo

1. Identificar la corriente. Confirmar si se trata de relaves finales, colas intermedias u otra corriente del circuito.
2. Definir el objetivo analítico. Determinar si se evaluará la ley de los sólidos, el contenido de sólidos, la composición del agua o varios parámetros.
3. Seleccionar el punto de toma. Elegir un lugar autorizado que permita acceder a la corriente de forma segura y obtener una muestra representativa.
4. Verificar las condiciones del proceso. Registrar el estado operativo, el caudal cuando esté disponible y cualquier cambio relevante en la alimentación o en los equipos.
5. Recolectar la muestra. Aplicar el procedimiento establecido, evitando tomar únicamente la fracción superficial o permitir que las partículas sedimenten antes de completar la recolección.
6. Homogeneizar cuando corresponda. Si el objetivo requiere representar la pulpa completa, mantener una distribución adecuada de sólidos y líquido durante la manipulación, sin alterar las características que se desea medir.
7. Envasar e identificar. Utilizar recipientes compatibles con los análisis previstos y registrar el punto, la fecha, la hora, el responsable y el tipo de muestra.
8. Transportar según el análisis. Evitar pérdidas, derrames, contaminación y cambios que puedan modificar los parámetros de interés.

El procedimiento debe establecer si se toma una muestra puntual o si se reúnen varios incrementos durante un periodo definido. Una muestra puntual refleja las condiciones de un momento específico; una muestra compuesta puede representar un intervalo, siempre que la combinación de incrementos sea apropiada para el objetivo y el parámetro analizado.

No deben combinarse automáticamente muestras recolectadas en distintos momentos. Si la composición de la corriente cambia, la mezcla puede ocultar variaciones importantes y dificultar la identificación de pérdidas de recuperación durante determinados periodos.

Muestreo de relaves depositados

Los relaves almacenados en depósitos, pozas o áreas de sedimentación presentan condiciones diferentes de las de una corriente en movimiento. La sedimentación, el drenaje y la distribución del material pueden producir variaciones entre sectores, profundidades y periodos de deposición.

El muestreo debe diseñarse según el propósito del estudio: determinar la ley residual, caracterizar el material depositado, evaluar su variabilidad o investigar posibles riesgos ambientales. Para ello, es necesario definir la ubicación, la profundidad y el número de muestras requeridas.

Consideraciones para el muestreo

- Distribución espacial: los puntos deben cubrir los sectores relevantes del depósito, evitando concentrarse solo en las zonas de acceso fácil.
- Profundidad: cuando se requiere evaluar el perfil del depósito, las muestras deben corresponder a intervalos de profundidad definidos y mantenerse separadas.

- Sedimentación y segregación: las diferencias de tamaño y densidad pueden provocar variaciones entre capas y sectores.
- Contenido de agua: las muestras superficiales pueden tener propiedades distintas de las capas inferiores.
- Condiciones del depósito: deben considerarse la estabilidad del terreno, la presencia de agua, los taludes, los sistemas de drenaje y las restricciones de acceso.

La toma de muestras en profundidad puede requerir equipos de perforación, sondas o dispositivos específicos. La selección depende de la consistencia del material, la profundidad y los parámetros que se analizarán. No se debe ingresar a zonas inundadas, superficies inestables ni sectores con riesgo de hundimiento sin evaluación y autorización.

Cada muestra debe conservar su ubicación y profundidad de origen. Mezclar material de diferentes capas sin un diseño establecido puede eliminar información sobre la distribución de los componentes dentro del depósito.

Muestreo de colas en procesos de concentración

Las colas generadas por flotación, concentración gravimétrica u otras operaciones deben muestrearse de acuerdo con las características del circuito.

En una planta de flotación, por ejemplo, la composición de las colas finales puede utilizarse para evaluar la cantidad de metal que permanece en el material descartado. En circuitos gravimétricos, las pérdidas pueden relacionarse con la granulometría, la liberación mineral y las condiciones de separación.

Para interpretar correctamente los resultados, es importante conocer:

- La procedencia de la corriente y la etapa del proceso.
- El tipo de mineral tratado y las variaciones de alimentación.
- Las condiciones operativas relevantes durante el muestreo.
- El método de recolección y la preparación aplicada.
- La base de expresión del resultado: muestra húmeda, sólidos secos u otra definida por el laboratorio.

Cuando se comparan leyes de alimentación, concentrado y colas, los resultados deben corresponder a muestras representativas de las corrientes evaluadas y a periodos de operación compatibles. Comparar muestras obtenidas en condiciones operativas muy diferentes puede conducir a conclusiones incorrectas sobre el rendimiento metalúrgico.

Muestreo para control de pérdidas y recuperación metalúrgica

El análisis de las colas permite identificar metales que no fueron recuperados en el producto de interés. Sin embargo, una ley baja o alta en las colas no basta por sí sola para establecer la recuperación global del circuito.

Para evaluar el desempeño metalúrgico se necesitan, según el cálculo requerido, datos de leyes, tonelajes y caudales de las corrientes correspondientes, además de información sobre la base de medición y el periodo evaluado.

En un balance metalúrgico simplificado para un circuito con alimentación, concentrado y colas, la recuperación de metal puede expresarse como:

$$\text{Recuperación (\%)} = (\text{Metal contenido en el concentrado} / \text{Metal contenido en la alimentación}) \times 100$$

El metal contenido en cada corriente depende de su masa y de su ley. Por ello, no es correcto calcular la recuperación utilizando únicamente las leyes del concentrado y de las colas sin considerar los caudales o tonelajes correspondientes.

Si los resultados de las colas muestran un aumento inesperado de la ley residual, se deben revisar las condiciones del proceso y la calidad de los datos. Entre las posibles causas están los cambios en la alimentación, la granulometría, la dosificación de reactivos, el funcionamiento de los equipos y los errores de muestreo o análisis.

Conservación, preparación y entrega de las muestras

La manipulación debe adaptarse al tipo de material y al análisis solicitado.

Para muestras de pulpa:

- Utilizar recipientes resistentes, compatibles con la muestra y correctamente cerrados.
- Evitar derrames y pérdidas de sólidos finos.
- Homogeneizar únicamente según el procedimiento previsto para obtener la porción analítica.
- Registrar si la muestra corresponde a la pulpa completa o a una fase separada.

Para muestras de relaves depositados:

- Mantener separadas las muestras de distintas ubicaciones y profundidades.
- Evitar la pérdida de finos y los cambios de humedad cuando sean relevantes.
- Identificar las condiciones de recolección y el tipo de material.
- Utilizar recipientes y métodos de conservación apropiados para los análisis previstos.

Cuando se requiera determinar el contenido de metales en los sólidos, la preparación puede incluir secado, homogeneización, reducción de masa y pulverización, conforme al método del laboratorio. Si el objetivo incluye analizar el agua de proceso, debe recolectarse una muestra específica y aplicarse la conservación indicada para los parámetros solicitados. La preparación destinada al análisis de sólidos no debe utilizarse automáticamente para analizar componentes disueltos.

Seguridad y control ambiental

Los relaves pueden contener reactivos residuales, sustancias disueltas y partículas finas. Su peligrosidad depende de la composición del mineral y del proceso aplicado; no debe suponerse que todos los relaves presentan las mismas características.

Antes de la toma, se deben revisar las condiciones del área, los procedimientos internos y las fichas de seguridad disponibles. Según la evaluación de riesgos, pueden requerirse

guantes compatibles con el material, protección ocular, botas adecuadas y protección respiratoria cuando exista exposición a polvo o aerosoles.

En zonas próximas a tuberías, canales, pozas y depósitos, deben controlarse los riesgos de resbalamiento, atrapamiento, contacto con sustancias peligrosas, caída al agua e inestabilidad del terreno. No se deben abrir tuberías presurizadas, ingresar a pozas ni intervenir equipos sin autorización y aislamiento cuando corresponda.

Los residuos de muestreo, recipientes contaminados y materiales de limpieza deben gestionarse conforme al procedimiento ambiental de la operación. No se deben devolver muestras al depósito ni verter residuos al drenaje sin autorización.

Registro y trazabilidad

El registro debe permitir identificar la muestra y reconstruir las condiciones en las que se obtuvo. Como mínimo, debe incluir:

- Código de muestra y corriente de procedencia.
- Ubicación o punto de toma y profundidad, cuando corresponda.
- Fecha y hora de recolección.
- Nombre del responsable y método empleado.
- Condiciones operativas relevantes y observaciones.
- Tipo de análisis solicitado y requisitos especiales de conservación.
- Identificación del recipiente y registro de entrega al laboratorio.

Las desviaciones del procedimiento deben documentarse. Si se detectan derrames, sedimentación antes de la toma de una alícuota, contaminación o identificación dudosa, la incidencia debe comunicarse y evaluarse antes de utilizar el resultado.

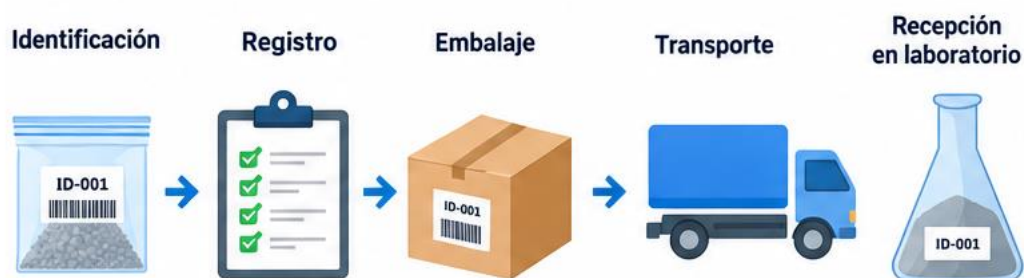
La calidad del muestreo de relaves y colas depende de representar correctamente la corriente o el depósito, conservar las características relevantes de la muestra y mantener su trazabilidad hasta el laboratorio. Solo así los resultados pueden utilizarse de manera confiable para evaluar pérdidas de metal, controlar el proceso y caracterizar el material residual.

2.5 Cadena de custodia y trazabilidad de la muestra

Concepto e importancia de la cadena de custodia

La cadena de custodia es el registro documentado de las personas, operaciones y transferencias por las que pasa una muestra desde su recolección hasta su recepción, análisis, almacenamiento o disposición final. Su finalidad es demostrar que la muestra se mantuvo identificada, protegida y bajo control durante todas las etapas de su recorrido.

Cadena de custodia y trazabilidad de las muestras



La trazabilidad de la muestra es la capacidad de reconstruir su origen, ubicación, método de obtención, condiciones de manipulación y relación con los resultados analíticos. Permite responder preguntas esenciales: de dónde procede la muestra, quién la recolectó, cuándo fue tomada, qué procedimientos se aplicaron, quién la recibió y a qué resultado de laboratorio corresponde.

Ambos conceptos están relacionados, pero no son idénticos. La cadena de custodia documenta principalmente la continuidad del control y las transferencias; la trazabilidad permite reconstruir la historia completa de la muestra y vincularla con el lote, el proceso y los datos obtenidos.

En minería, una muestra correctamente analizada puede producir un resultado poco útil si no existe evidencia suficiente de su procedencia o si se desconoce cómo fue manipulada. Por ejemplo, un certificado de ensayo con una ley de oro determinada no permite atribuir ese resultado a un frente de explotación concreto cuando el código de la muestra no coincide con los registros de campo.

La cadena de custodia no garantiza por sí sola la representatividad ni la exactitud analítica. Estas dependen también del diseño de muestreo, la preparación y los métodos de análisis. Su función es conservar la identidad de la muestra y documentar las condiciones necesarias para interpretar los resultados.

Identificación única de las muestras

Cada muestra debe recibir un código único que permita distinguirla de todas las demás durante su recorrido. El sistema de codificación debe ser consistente, legible y compatible con los registros de campo, laboratorio y control de calidad.

Un código puede combinar letras y números que identifiquen el proyecto, la zona, el tipo de muestra y un número correlativo. Por ejemplo:

PROY-F01-CAN-0025

Este código podría representar una muestra del proyecto PROY, tomada en el frente F01, correspondiente a un muestreo de canal y registrada con el número 0025. Es solo un ejemplo: cada operación debe definir su propia estructura y significado.

El código no debe depender exclusivamente de información que pueda cambiar, como el nombre informal del trabajador, la ley estimada o el destino temporal de la muestra. Los datos descriptivos se conservan en el registro asociado.

La identificación debe aparecer de forma concordante en:

- La etiqueta del recipiente, bolsa, caja o sobre.
- El formato de registro de campo.
- La hoja de envío al laboratorio.
- El registro de recepción y preparación.
- La solicitud de análisis y el informe de resultados.
- Los registros de control de calidad, cuando correspondan.

Si se utilizan códigos de barras o etiquetas QR, estos facilitan la lectura y reducen errores de transcripción, pero no sustituyen la verificación del código ni el registro de las operaciones.

Registro de campo y origen de la muestra

La trazabilidad comienza en el momento de la recolección. El responsable debe registrar los datos necesarios para relacionar la muestra con su ubicación y con el objetivo del muestreo.

La información debe adaptarse al tipo de muestra. En términos generales, se deben documentar:

- Código de muestra: identificador único asignado.
- Proyecto y ubicación: unidad minera, zona, labor, frente, banco, coordenadas o punto de muestreo, según corresponda.
- Tipo de muestra: canal, punto, testigo de perforación, pila, faja, pulpa o relaves.
- Fecha y hora: momento de recolección y, cuando sea relevante, intervalo representado.
- Responsable: persona que realizó la toma.
- Método de muestreo: procedimiento utilizado y referencia al protocolo aplicable.
- Descripción del material: mineral, litología, granulometría, humedad u otras características pertinentes.
- Observaciones: condiciones inusuales, dificultades de acceso, pérdidas, contaminación posible o desviaciones del procedimiento.
- Destino previsto: laboratorio, área de preparación o instalación receptora.

No todos los tipos de muestra requieren exactamente los mismos campos. Por ejemplo, en testigos de perforación son importantes la identificación del sondaje y los intervalos de profundidad; en muestras de faja pueden ser relevantes el punto de transferencia, el turno y el periodo de operación representado.

Los registros deben completarse durante la actividad o inmediatamente después, utilizando datos verificables. La reconstrucción posterior basada únicamente en la memoria del trabajador aumenta la posibilidad de omisiones y errores.

Etiquetado, embalaje y sellado

Después de la recolección, la muestra debe acondicionarse para evitar pérdidas, contaminación y confusiones durante el transporte. El método de embalaje depende de su naturaleza, humedad, granulometría y análisis solicitado.

La etiqueta debe ser legible y resistente a las condiciones previstas de manipulación. Cuando existe riesgo de deterioro, se recomienda colocar una identificación externa y otra interna, siempre que el procedimiento lo permita y que el material de la etiqueta interna no contamine la muestra.

El embalaje debe cumplir las siguientes condiciones:

- Utilizar bolsas, recipientes o cajas adecuados para el material.
- Evitar derrames y pérdidas de partículas finas.
- Cerrar correctamente el envase para impedir aperturas accidentales.
- Separar muestras que puedan contaminarse entre sí.
- Mantener las condiciones de conservación requeridas por el análisis.
- Aplicar sellos numerados cuando el procedimiento exija evidencia de apertura o manipulación.

El número de sello, cuando se utiliza, debe registrarse junto al código de la muestra. Si el sello llega roto, ausente o con una numeración diferente de la documentada, la incidencia debe anotarse y comunicarse antes de continuar con el procesamiento.

Un sello intacto aporta evidencia sobre la integridad del embalaje, pero no demuestra por sí solo que la muestra original haya sido recolectada correctamente o que sea representativa.

Transferencia y registro de las muestras

Cada entrega entre responsables o áreas debe quedar documentada. La transferencia puede producirse entre el muestreador y el supervisor, entre la operación minera y el transportista, o entre el transportista y el laboratorio.

El registro debe permitir identificar quién entrega, quién recibe, cuándo ocurre la transferencia y qué muestras están incluidas.

El procedimiento habitual comprende:

1. Preparar el envío. Verificar los códigos, el número de recipientes, el estado de los embalajes y la documentación asociada.
2. Registrar la entrega. Anotar las muestras transferidas, la fecha y hora, el responsable que entrega y la persona o entidad receptora.
3. Comprobar la recepción. Confirmar la correspondencia entre las muestras físicas y la relación documental.
4. Registrar las incidencias. Informar sobre códigos ilegibles, recipientes dañados, sellos alterados, muestras faltantes o diferencias en la cantidad recibida.
5. Formalizar la conformidad. Obtener la firma, confirmación electrónica u otra evidencia establecida por el procedimiento.

6. Conservar el registro. Archivar la documentación para su consulta y auditoría posterior.

Si el transporte se realiza en un solo envío, se puede utilizar una relación consolidada de muestras, siempre que cada código individual quede identificado y que la recepción permita verificar todas las unidades.

No se debe modificar un código para hacerlo coincidir con una lista sin investigar primero la discrepancia. Cualquier corrección debe quedar documentada, conservando el dato original y la justificación del cambio.

Recepción en el laboratorio

El laboratorio debe verificar la correspondencia entre las muestras recibidas y la documentación de envío antes de iniciar su procesamiento.

Los controles de recepción pueden incluir:

- Número de muestras y correspondencia de códigos.
- Estado de bolsas, cajas, recipientes y sellos.
- Legibilidad de las etiquetas.
- Concordancia entre el material recibido y el tipo de análisis solicitado.
- Presencia de humedad, derrames o contaminación visible, cuando sea relevante.
- Existencia de instrucciones especiales de conservación o preparación.

Si una muestra llega deteriorada, sin identificación o con discrepancias documentales, debe registrarse como incidencia. Según la naturaleza del problema y los procedimientos del laboratorio, la muestra puede quedar retenida para aclaración, aceptarse bajo observación o rechazarse.

La decisión debe ser trazable. No corresponde completar información desconocida mediante suposiciones ni asignar una procedencia basándose únicamente en la apariencia del material.

Una vez aceptada, la muestra debe incorporarse al sistema de registro del laboratorio y vincularse con su código de origen, el número interno de recepción y las solicitudes de ensayo correspondientes.

Trazabilidad durante la preparación y el análisis

La trazabilidad debe mantenerse incluso cuando la muestra original se divide, se transforma o genera varias fracciones. En la preparación mecánica, una muestra puede pasar por secado, chancado, división, pulverización y obtención de una porción destinada al análisis.

Cada operación debe conservar la relación entre el material de origen y las fracciones resultantes. Cuando se asignan nuevos identificadores internos, estos deben vincularse con el código original.

Por ejemplo, una muestra de campo puede generar una fracción gruesa archivada, una pulpa y una porción enviada al análisis. Los registros deben permitir determinar de qué muestra procede cada una, qué operación se realizó y dónde quedó almacenada.

También deben documentarse las repeticiones analíticas, las nuevas preparaciones y los análisis adicionales. Si se solicita un segundo ensayo, debe quedar claro si se utilizó la misma pulpa, una nueva porción del material preparado o una nueva muestra recolectada en campo.

La trazabilidad permite diferenciar situaciones que no son equivalentes: repetir el análisis de una pulpa existente no corrige necesariamente un error cometido durante la recolección original.

Gestión de documentos y registros digitales

La documentación puede conservarse en formatos físicos, hojas de cálculo o sistemas digitales. Independientemente del soporte, el sistema debe permitir localizar los registros, verificar su integridad y relacionar cada documento con el código de la muestra.

Un sistema organizado debe contemplar:

- Formularios de campo y registros de ubicación.
- Listas de envío y recepción.
- Registros de incidencias y correcciones.
- Historial de preparación y división.
- Solicitudes e informes de análisis.
- Registros de almacenamiento y disposición final.

Los registros electrónicos deben protegerse frente a pérdidas, modificaciones no autorizadas y duplicaciones. Cuando sea posible, conviene mantener un historial de cambios que identifique al responsable, la fecha y el motivo de cada modificación.

Las correcciones deben realizarse de forma controlada, sin borrar información relevante sobre lo ocurrido. También es importante mantener copias de respaldo y restringir el acceso a las funciones de modificación según las responsabilidades de cada usuario.

Errores frecuentes y medidas preventivas

Error	Consecuencia	Medida preventiva
Código duplicado	Confusión entre muestras	Utilizar un sistema de identificación único
Etiqueta ilegible	Pérdida de identidad	Verificar legibilidad y resistencia antes del envío
Diferencias entre lista y recipientes	Recepción incorrecta	Realizar conciliación física y documental
Falta de registro de entrega	Interrupción de la cadena de custodia	Documentar cada transferencia
Sello roto o ausente sin explicación	Duda sobre la integridad del embalaje	Registrar la incidencia y evaluar su impacto

Cambio de código sin historial	Pérdida de trazabilidad	Conservar el identificador original y justificar la corrección
Mezcla de muestras	Alteración de la composición	Separar los materiales y aplicar procedimientos de limpieza
Pérdida de registros	Imposibilidad de reconstruir el recorrido	Mantener archivos organizados y respaldos

Responsabilidades y cierre de la cadena de custodia

La responsabilidad se distribuye entre los participantes del proceso. El muestreador debe identificar y documentar correctamente el material; el supervisor debe comprobar el cumplimiento del procedimiento; el personal de transporte debe mantener las condiciones de entrega; y el laboratorio debe verificar la recepción y registrar las operaciones posteriores.

La cadena de custodia se mantiene mediante registros coherentes desde la recolección hasta el destino final definido por la operación. Este destino puede incluir el almacenamiento de muestras testigo o pulpas, la devolución autorizada o la disposición conforme al procedimiento aplicable.

Antes de cerrar el expediente de una muestra, se debe comprobar que su código esté vinculado con los registros de campo, las transferencias, la recepción, la preparación y los resultados analíticos correspondientes. Las incidencias y las acciones adoptadas deben quedar documentadas.

Una cadena de custodia completa permite demostrar quién controló la muestra y qué ocurrió durante su recorrido; una trazabilidad adecuada permite reconstruir su historia y relacionar el resultado analítico con su origen. Ambas son esenciales para que la información utilizada en decisiones mineras sea verificable, coherente y técnicamente defendible.

Módulo 3: Preparación Mecánica de Muestras

3.1 Recepción, registro y codificación de muestras en laboratorio

Recepción de muestras en el laboratorio

La recepción es la primera etapa del control de las muestras que ingresan al laboratorio para su preparación mecánica y posterior análisis. Su objetivo es verificar la correspondencia entre el material recibido y la documentación de envío, confirmar la identidad de cada muestra y detectar incidencias que puedan comprometer su procesamiento o trazabilidad.



Las muestras pueden proceder de frentes de explotación, testigos de perforación, pilas de mineral, fajas transportadoras, relaves u otras áreas de la operación. Cada tipo puede presentar condiciones diferentes de humedad, granulometría, embalaje y conservación, por lo que la recepción debe ajustarse al procedimiento establecido para cada material.

Antes de aceptar un envío, el personal responsable debe comprobar:

- Identificación: presencia de códigos legibles y concordantes con la documentación.
- Cantidad: coincidencia entre el número de muestras recibidas y el número declarado.
- Integridad del embalaje: ausencia de roturas, derrames, aperturas accidentales o daños relevantes.
- Correspondencia documental: concordancia entre los códigos, el origen, el tipo de muestra y los análisis solicitados.
- Condiciones del material: humedad, presencia de material extraño, contaminación visible u otras características relevantes.
- Requisitos especiales: condiciones de conservación, manipulación o preparación indicadas en la solicitud.

La recepción no debe limitarse a contar bolsas o cajas. También debe comprobarse que cada unidad corresponda a una muestra identificable y que su contenido sea compatible con la información declarada.

Verificación de discrepancias

Cuando se detectan diferencias entre el material recibido y la documentación, la incidencia debe registrarse antes de continuar con el procesamiento.

Entre las situaciones más frecuentes se encuentran:

- Muestras sin código o con etiquetas ilegibles.
- Códigos duplicados o diferentes entre el recipiente y la lista de envío.
- Muestras faltantes o unidades adicionales no declaradas.
- Embalajes rotos, derrames o pérdida de material.
- Diferencias entre el tipo de muestra recibido y el análisis solicitado.
- Evidencia de contaminación o condiciones de conservación inadecuadas.

Según el procedimiento del laboratorio, la muestra puede quedar retenida para aclaración, aceptarse bajo observación o rechazarse. La decisión debe ser autorizada por el responsable correspondiente y quedar documentada.

No se debe asignar una identidad por suposición ni corregir un código sin verificar el origen de la discrepancia. Si es necesario modificar un registro, se debe conservar el dato original y documentar la corrección.

Registro de ingreso de las muestras

Una vez verificada la recepción, cada muestra debe incorporarse al sistema de registro del laboratorio. El registro permite controlar su ingreso, localizarla durante las distintas etapas de trabajo y vincularla posteriormente con los resultados analíticos.

Los datos mínimos que deben registrarse, según el sistema de la operación, incluyen:

- Código de muestra: identificador único asignado en campo.
- Número de recepción: identificador interno del ingreso, cuando se utilice.
- Proyecto o cliente: procedencia administrativa de la solicitud.
- Origen de la muestra: zona, frente, sondaje, lote, punto de muestreo o corriente de proceso.
- Tipo de material: mineral, testigo, concentrado, relave u otra categoría aplicable.
- Fecha y hora de recepción: momento en que el laboratorio recibe el material.
- Cantidad recibida: número de bolsas, cajas o recipientes y, cuando corresponda, masa declarada.
- Estado de recepción: conforme, observado, retenido o rechazado, según las categorías internas.
- Análisis solicitado: ensayos o determinaciones requeridos.
- Responsable de recepción: persona que verificó y registró el ingreso.
- Observaciones: incidencias, condiciones particulares o instrucciones de preparación.

Los campos deben adaptarse al tamaño y la complejidad de la operación. En un laboratorio pequeño puede utilizarse una hoja de cálculo controlada; en instalaciones con mayor volumen de muestras, puede emplearse un sistema informático con permisos de acceso y un historial de modificaciones.

El registro debe realizarse de forma legible, completa y oportuna. La información incompleta dificulta localizar las muestras, investigar errores y comprobar la relación entre el material recibido y el informe final.

Codificación e identificación interna

La codificación consiste en asignar o confirmar un identificador que permita reconocer cada muestra de manera inequívoca. En general, el código de campo debe mantenerse durante todo el proceso. Si el laboratorio necesita un número interno adicional, este debe vincularse con el identificador original.

Por ejemplo:

- Código de campo: PROY-F01-CAN-0025.
- Número interno de recepción: REC-2026-0148.
- Identificador de pulpa: PROY-F01-CAN-0025-PUL.

Estos códigos son ilustrativos. La estructura real depende del sistema utilizado por la operación y debe definirse mediante un procedimiento interno.

El identificador de una fracción preparada no debe confundirse con el código de una muestra nueva. Si una muestra original se divide en varias fracciones, cada una debe conservar una relación documentada con su origen.

Reglas para una codificación correcta

1. Unicidad: el sistema debe impedir que dos muestras distintas reciban accidentalmente el mismo identificador.
2. Consistencia: los códigos deben conservar el mismo formato en etiquetas, formularios y sistemas digitales.
3. Legibilidad: las etiquetas deben poder leerse durante la recepción, el almacenamiento y la preparación.
4. Permanencia: el identificador debe mantenerse aunque la muestra cambie de recipiente o de estado físico.
5. Trazabilidad: cualquier código interno o derivado debe vincularse con el código original.
6. Control de cambios: las correcciones deben quedar registradas y no deben eliminar la historia de la muestra.

No es recomendable utilizar únicamente nombres de trabajadores, fechas o descripciones generales como identificadores, porque pueden repetirse o cambiar. Tampoco debe dependerse solo del color de una etiqueta, ya que este puede interpretarse de manera diferente o perderse durante la manipulación.

Etiquetado y rotulación de recipientes

El etiquetado debe permitir identificar la muestra sin depender exclusivamente de documentos separados. La etiqueta debe ser compatible con las condiciones de almacenamiento y con las operaciones posteriores de preparación.

Como mínimo, debe contener el código de la muestra. Según el procedimiento, puede incluir también el tipo de material, la fecha de recepción, el proyecto y las advertencias de manipulación pertinentes.

Las etiquetas deben fijarse de manera segura y mantenerse legibles. Si una muestra cambia de bolsa, bandeja o recipiente, la identificación debe transferirse mediante un procedimiento controlado, verificando el código antes y después del cambio.

Cuando se utilizan códigos de barras o QR, deben comprobarse tanto la lectura automática como la correspondencia con el código visible. Un código escaneable no garantiza que la etiqueta esté asociada al recipiente correcto.

En el caso de cajas de testigos, la identificación debe permitir reconocer el sondaje y los intervalos de profundidad. Para muestras húmedas o pulpas, deben emplearse etiquetas y recipientes apropiados para evitar que la humedad o la manipulación deterioren la información.

Clasificación y almacenamiento temporal

Después de su registro, las muestras deben organizarse según su tipo, prioridad de procesamiento, destino analítico y condiciones de conservación. La ubicación debe permitir localizarlas sin mezclar materiales de diferentes códigos o procedencias.

La clasificación puede establecerse por:

- Proyecto, cliente o unidad operativa.
- Tipo de muestra y material.
- Estado de recepción.
- Prioridad o fecha prevista de preparación.
- Requisitos de conservación o manipulación.
- Estado del proceso: pendiente, en preparación, preparada o enviada a análisis.

Las muestras deben almacenarse en áreas designadas, limpias y organizadas. Se deben evitar las mezclas accidentales, el contacto con material extraño y las condiciones que puedan modificar las propiedades relevantes para el análisis.

Las muestras húmedas, los materiales que requieran conservación específica y aquellos con riesgos identificados deben manejarse según las instrucciones correspondientes. No todas las muestras pueden almacenarse de la misma manera ni permanecer indefinidamente en las mismas condiciones.

La ubicación física también debe registrarse cuando el volumen de trabajo lo justifique. Por ejemplo, se puede utilizar un código de estante, zona, bandeja o posición para recuperar rápidamente una muestra durante una auditoría o una repetición analítica.

Registro de movimientos y cambios de estado

La recepción constituye el inicio del control interno del laboratorio, pero la trazabilidad debe continuar durante la preparación mecánica. Cada movimiento relevante debe reflejarse en el sistema para conocer el estado de la muestra y su ubicación.

Los cambios de estado pueden incluir:

- Recepción pendiente de verificación.
- Recepción aceptada.
- Retención por discrepancia.
- Preparación mecánica iniciada.
- Preparación finalizada.
- Envío al laboratorio analítico.
- Almacenamiento de material remanente.

Cada actualización debe identificar la muestra, la fecha y el responsable. Si se producen incidencias, deben registrarse junto con las acciones adoptadas.

Cuando una muestra se divide, se pierde material accidentalmente o requiere una nueva preparación, el registro debe reflejar lo sucedido. No debe crearse un identificador nuevo sin establecer su relación con el original.

Un sistema de control eficaz permite conocer no solo dónde está una muestra, sino también en qué etapa se encuentra y qué operaciones se han realizado sobre ella.

Seguridad y buenas prácticas durante la recepción

La recepción puede implicar manipulación de bolsas pesadas, cajas de testigos, recipientes húmedos, polvo mineral y materiales cuya composición no se conoce completamente. Por ello, se deben aplicar las medidas de seguridad correspondientes al riesgo identificado.

Las buenas prácticas incluyen:

- Utilizar los equipos de protección personal establecidos para el área.
- Aplicar técnicas seguras de levantamiento y manipulación de cargas.
- Evitar abrir o sacudir recipientes que puedan liberar polvo sin los controles necesarios.
- Mantener las zonas de recepción despejadas y los pasillos libres.
- Limpiar los derrames mediante procedimientos adecuados, sin dispersar partículas.
- Consultar las instrucciones de manipulación cuando existan riesgos químicos o ambientales.
- Informar sobre envases dañados, fugas o materiales sospechosos antes de continuar.

La recepción no debe convertirse en una operación improvisada de apertura, mezcla o preparación. Estas actividades deben realizarse en las áreas habilitadas y bajo los procedimientos correspondientes.

Control final antes de la preparación mecánica

Antes de enviar una muestra a secado, chancado u otra operación, se debe comprobar que:

- Su identidad esté confirmada y correctamente registrada.
- La recepción esté aceptada o que exista una autorización documentada para proceder bajo observación.
- La solicitud de trabajo corresponda al material recibido.
- Las instrucciones especiales estén disponibles para el personal responsable.
- La ubicación y el estado de la muestra estén actualizados.
- Las incidencias que puedan afectar el procesamiento hayan sido evaluadas.

La recepción, el registro y la codificación constituyen la base del control de laboratorio. Un sistema correcto evita confusiones entre muestras, conserva la trazabilidad y permite relacionar el material original con las fracciones preparadas y los resultados analíticos. La preparación mecánica solo debe comenzar cuando la identidad y las condiciones de aceptación de la muestra estén suficientemente verificadas.

Flujo general de preparación de muestras



3.2 Secado y control de humedad

Importancia del secado y del control de humedad

El secado de muestras minerales es una operación de preparación mecánica destinada a reducir el contenido de agua del material antes de determinadas etapas de procesamiento, como el chancado, la división y la pulverización. Su finalidad es facilitar la manipulación, reducir la adherencia de partículas y evitar que la humedad interfiera con los procedimientos posteriores.

El secado debe realizarse de acuerdo con el tipo de muestra y los requisitos del análisis. No todas las muestras deben secarse de la misma manera: la temperatura, el tiempo y las

condiciones de exposición pueden modificar determinadas propiedades físicas o químicas del material.

El contenido de humedad expresa la cantidad de agua presente en una muestra. Su determinación es importante para controlar las operaciones de preparación, comparar resultados sobre una misma base y, cuando corresponda, convertir una masa húmeda en una masa seca.

En el laboratorio minero, el control de humedad puede aplicarse a mineral de mina, muestras de sondajes, concentrados, relaves, colas de proceso y otros materiales. La selección del procedimiento depende de la naturaleza del material, del objetivo del análisis y de las instrucciones del laboratorio.

Efectos de la humedad en la preparación mecánica

La presencia excesiva de agua puede provocar diferentes problemas:

- Adherencia de partículas: el material fino puede pegarse a las paredes de los equipos, recipientes y herramientas.
- Obstrucción de equipos: la humedad puede dificultar el flujo del material en chancadoras, divisores y pulverizadores.
- Segregación: las partículas pueden agruparse o distribuirse de manera desigual durante la manipulación.
- Pérdida de material fino: parte de la muestra puede quedar adherida a bolsas, bandejas o superficies de trabajo.
- Dificultad de homogeneización: una distribución irregular de humedad puede complicar la obtención de porciones representativas.
- Variaciones de masa: el agua presente contribuye a la masa medida, por lo que puede alterar los cálculos si no se identifica la base de referencia.

El secado inadecuado también puede introducir errores. Una temperatura demasiado elevada o una exposición prolongada pueden provocar pérdidas de componentes volátiles, cambios mineralógicos o transformaciones químicas en materiales sensibles. Por ello, el objetivo no es aplicar la mayor temperatura posible, sino utilizar condiciones compatibles con el análisis requerido.

Evaluación previa de la muestra

Antes de iniciar el secado, el personal debe comprobar la identificación de la muestra, su estado físico y las instrucciones de preparación. También debe verificar si el material presenta condiciones especiales que exijan un procedimiento distinto.

Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de material: mineral, concentrado, relave, sedimento u otra matriz.
- Estado de humedad: material seco, ligeramente húmedo, húmedo o saturado.
- Granulometría: tamaño de las partículas y distribución de tamaños.
- Masa disponible: cantidad necesaria para las etapas posteriores y para los análisis solicitados.

- Objetivo analítico: determinación de ley, humedad, composición química u otras propiedades.
- Sensibilidad térmica: posibilidad de que el calentamiento altere componentes relevantes.
- Condiciones de seguridad: presencia potencial de sustancias peligrosas, generación de polvo y requisitos de manipulación.

Cuando se solicite determinar la humedad original de una muestra, debe reservarse y procesarse una porción conforme al método específico antes de someter el resto a un secado que modifique su contenido de agua. No debe intentarse reconstruir la humedad inicial después de que la muestra ya se haya secado sin haber registrado la masa correspondiente.

Equipos y materiales de secado

Los equipos utilizados dependen del volumen de trabajo, el tipo de material y las condiciones establecidas por el laboratorio.

Estufa de secado. Se utiliza para mantener las muestras a una temperatura controlada durante un periodo definido. La temperatura real debe verificarse y mantenerse dentro de las condiciones establecidas por el método aplicable.

Bandejas de secado. Permiten distribuir el material en una capa adecuada para facilitar la circulación del aire y reducir las diferencias de secado entre sectores. Deben estar limpias, identificadas cuando sea necesario y fabricadas con materiales compatibles con la muestra.

Balanzas. Se utilizan para determinar la masa antes y después del secado cuando el procedimiento requiere calcular la pérdida de masa. Su capacidad y resolución deben ser adecuadas a la cantidad de muestra y a la precisión requerida.

Desecadores o recipientes de enfriamiento controlado. Pueden utilizarse cuando el método exige proteger la muestra seca de la humedad ambiental durante el enfriamiento previo al pesaje.

Termómetros o sistemas de control térmico. Permiten comprobar las condiciones de temperatura del equipo. La lectura del panel no debe considerarse suficiente cuando el procedimiento exige verificaciones adicionales o controles de calibración.

Antes de utilizar cualquier equipo, se debe verificar su estado, limpieza y funcionamiento. Las bandejas y recipientes deben evitar la pérdida o contaminación del material durante el secado y la transferencia.

Procedimiento de secado de muestras minerales

El procedimiento debe seguir las instrucciones del laboratorio y el método analítico aplicable. Como secuencia general, se consideran las siguientes etapas:

1. Verificación e identificación. Confirmar el código de la muestra y registrar cualquier observación relevante sobre su estado inicial.

2. Pesaje inicial. Cuando se requiera determinar la humedad, pesar la muestra húmeda o una porción representativa y registrar la masa obtenida.
3. Distribución del material. Colocar la muestra en una bandeja limpia, extendiéndola de manera uniforme para facilitar el secado. Evitar sobrecargar la bandeja o mezclar muestras diferentes.
4. Configuración de la temperatura. Ajustar la estufa según el procedimiento aplicable y las características del material. No existe una temperatura única adecuada para todas las muestras minerales.
5. Secado controlado. Mantener la muestra bajo las condiciones establecidas, evitando pérdidas de partículas, contaminación y exposición a temperaturas no autorizadas.
6. Comprobación del secado. Verificar que se haya alcanzado el criterio definido por el método. Cuando se exige masa constante, realizar ciclos de secado, enfriamiento y pesaje hasta cumplir el criterio establecido.
7. Enfriamiento. Dejar enfriar la muestra en condiciones adecuadas antes de pesarla o continuar con la preparación. El material caliente puede generar corrientes de aire que afectan la lectura de la balanza.
8. Pesaje final. Registrar la masa seca cuando corresponda al procedimiento de determinación de humedad.
9. Transferencia a la siguiente etapa. Identificar y trasladar la muestra sin perder material ni interrumpir su trazabilidad.

La condición de masa constante debe definirse conforme al método utilizado; no debe interpretarse simplemente como que la muestra parece seca o que ha transcurrido un tiempo determinado.

Durante el secado, las muestras deben permanecer identificadas. Si varias bandejas se procesan simultáneamente, su distribución debe permitir reconocer cada muestra sin depender únicamente de la memoria del operador.

Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad puede expresarse sobre base húmeda o sobre base seca. Es indispensable identificar qué base se utiliza, porque los valores no son equivalentes.

Cuando se determina la humedad por pérdida de masa durante el secado, el cálculo habitual sobre base húmeda es:

$$\text{Humedad (\%)} = [(Masa\ húmeda - Masa\ seca) / Masa\ húmeda] \times 100$$

Donde:

- Masa húmeda: masa de la muestra antes del secado.
- Masa seca: masa de la misma muestra después del secado conforme al método establecido.

Por ejemplo, si una muestra tiene una masa húmeda de 500 g y una masa seca de 450 g:

$$\text{Humedad (\%)} = [(500 - 450) / 500] \times 100 = 10 \%$$

La muestra perdió 50 g durante el secado, equivalentes al 10 % de su masa inicial.

Sobre base seca, el cálculo es diferente:

Humedad sobre base seca (%) = $[(\text{Masa húmeda} - \text{Masa seca}) / \text{Masa seca}] \times 100$

Con los mismos datos:

$$\text{Humedad sobre base seca (\%)} = [(500 - 450) / 450] \times 100 = 11,11 \%$$

Por tanto, el resultado debe indicar la base empleada. En informes técnicos y balances de masa, confundir ambas expresiones puede producir diferencias importantes.

Estos cálculos presuponen que la pérdida de masa corresponde al agua eliminada. Si el calentamiento también provoca pérdidas de otras sustancias o transformaciones del material, el resultado puede no representar exclusivamente el contenido de humedad. En esos casos, debe utilizarse un método apropiado para la matriz y el objetivo analítico.

Control de calidad durante el secado

La calidad del resultado depende tanto del equipo como de la manipulación de la muestra. Para reducir errores, deben controlarse los siguientes aspectos:

- Temperatura real: verificar que las condiciones se mantengan dentro del intervalo establecido por el método.
- Tiempo de secado: evitar periodos insuficientes o excesivos y respetar el criterio de finalización.
- Distribución del material: mantener una disposición que facilite el secado uniforme.
- Pesaje: utilizar una balanza adecuada, comprobar su funcionamiento y registrar las masas sin transcripciones incorrectas.
- Pérdida de partículas: evitar derrames, corrientes de aire y transferencias que eliminen material.
- Contaminación cruzada: limpiar las bandejas y las superficies de contacto antes de procesar otras muestras.
- Absorción de humedad ambiental: limitar la exposición de muestras secas cuando puedan reabsorber agua.
- Registro: conservar los datos iniciales, finales, las condiciones de secado y las incidencias.

Si el resultado presenta valores inesperados, se deben revisar la identificación, las pesadas, el estado de la balanza, las condiciones térmicas y la posibilidad de pérdida de material. Cuando sea necesario, la determinación debe repetirse utilizando una porción adecuada y el procedimiento establecido.

Relación entre humedad y preparación mecánica

El secado influye en las operaciones posteriores de chancado, división y pulverización. Una muestra demasiado húmeda puede adherirse a las superficies internas, dificultar el paso del material y favorecer la pérdida de partículas finas. Sin embargo, secar no significa que se

deba alterar indiscriminadamente la muestra ni eliminar información relevante para el análisis.

Cuando se requiere determinar la ley de un mineral sobre base seca, la humedad debe medirse mediante un procedimiento compatible con el análisis y conservarse el registro necesario para realizar la conversión correspondiente. Si el laboratorio recibe resultados expresados sobre base húmeda, no deben compararse directamente con resultados sobre base seca sin verificar las bases de cálculo.

En materiales destinados a estudios mineralógicos, análisis de compuestos sensibles o determinaciones específicas, las condiciones de secado deben seleccionarse de acuerdo con el método analítico. En determinadas situaciones, puede ser necesario evitar el secado convencional o utilizar condiciones especiales.

Seguridad y organización del área

El secado requiere controlar los riesgos asociados al calor, la electricidad, el polvo mineral y las características del material procesado.

Las principales medidas preventivas incluyen:

- Utilizar guantes térmicos adecuados al manipular bandejas calientes y emplear las herramientas previstas para extraerlas.
- No tocar superficies calientes ni introducir materiales incompatibles con la temperatura de trabajo.
- Mantener despejadas las zonas de circulación y las áreas próximas a la estufa.
- Evitar la dispersión de polvo durante la carga, descarga y transferencia.
- Utilizar la protección respiratoria y ocular que corresponda a la evaluación de riesgos.
- No secar materiales potencialmente peligrosos sin verificar previamente sus características y el procedimiento autorizado.
- Mantener los equipos eléctricos en buen estado y no utilizarlos si presentan daños.
- Registrar y comunicar fallas de temperatura, ventilación u otras anomalías.

Las muestras calientes deben manipularse con precaución y colocarse en lugares designados para su enfriamiento. No deben dejarse bandejas calientes en pasillos ni sobre superficies que puedan dañarse.

Registro de la operación

El registro del secado debe permitir reconstruir las condiciones en las que se procesó cada muestra. Según el procedimiento del laboratorio, debe incluir el código de muestra, la fecha, el responsable, la identificación del equipo, las masas inicial y final cuando correspondan, la temperatura aplicada, el tiempo o criterio de secado y las incidencias detectadas.

Cuando la operación forma parte de una preparación para análisis posterior, también debe registrarse el estado final de la muestra y su transferencia a la siguiente etapa.

El secado y el control de humedad deben conservar la identidad y la integridad de la muestra, facilitar la preparación mecánica y proporcionar resultados calculados sobre una

base claramente definida. La selección correcta del método evita que la eliminación de agua introduzca errores en la preparación o en la interpretación analítica.

3.3 Chancado primario y secundario de muestras

Objetivo del chancado en la preparación de muestras

El chancado es una operación de reducción del tamaño de las partículas minerales mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. En la preparación de muestras para análisis, su finalidad es reducir el tamaño del material hasta alcanzar una granulometría apropiada para las etapas posteriores de división y pulverización.



El chancado primario reduce el tamaño de los fragmentos gruesos recibidos del campo o de las etapas iniciales de preparación. El chancado secundario reduce posteriormente el material hasta un tamaño más fino y uniforme, de acuerdo con el procedimiento establecido para la muestra.

Estas operaciones deben realizarse sin comprometer la representatividad del material. Una muestra puede quedar finamente triturada y, aun así, producir resultados poco confiables si durante el chancado se pierde material, se introduce contaminación o se seleccionan de manera involuntaria determinadas fracciones granulométricas.

El objetivo no es alcanzar el menor tamaño posible en cada etapa, sino obtener una granulometría adecuada para el procedimiento de preparación, manteniendo la identidad y la integridad de la muestra.

Importancia del control granulométrico

El tamaño de las partículas influye en la homogeneidad de la muestra, la distribución de los minerales y la eficacia de las operaciones posteriores. Los fragmentos grandes pueden contener proporciones diferentes de mineral valioso y ganga, por lo que una reducción controlada facilita la división de la muestra y disminuye ciertos problemas asociados a la segregación.

Sin embargo, el chancado no garantiza por sí solo una distribución homogénea de los componentes. La eficacia de la preparación depende también de la mineralogía, la distribución del metal, el tamaño de liberación y los procedimientos de división y pulverización.

Durante el proceso deben controlarse los siguientes aspectos:

- Tamaño de alimentación: dimensiones máximas del material que ingresa al equipo.
- Tamaño de descarga: granulometría obtenida después de la operación.
- Distribución de tamaños: proporción de partículas gruesas y finas en el producto.
- Capacidad del equipo: cantidad de material que puede procesar sin exceder sus condiciones de operación.
- Pérdida de material: cantidad que queda adherida, se derrama o no se recupera.
- Contaminación cruzada: incorporación de partículas de muestras procesadas anteriormente.
- Calentamiento y generación de polvo: efectos que deben controlarse según las características del material y el equipo.

Chancado primario

El chancado primario constituye la primera reducción mecánica importante del material grueso. Se aplica a fragmentos procedentes de frentes de explotación, testigos previamente acondicionados u otras muestras que requieren reducirse antes de su división.

En el laboratorio se utilizan habitualmente chancadoras de mandíbulas, aunque el equipo seleccionado depende del tamaño de alimentación, la dureza del mineral, la capacidad requerida y el procedimiento de preparación.

Principio de funcionamiento de la chancadora de mandíbulas

La chancadora de mandíbulas reduce el tamaño del material mediante la compresión entre dos superficies: una mandíbula fija y otra móvil. El movimiento de la mandíbula móvil somete los fragmentos a esfuerzos de compresión hasta que se fracturan y descienden hacia la abertura de descarga.

El tamaño del producto depende, entre otros factores, de la abertura de descarga, las características del mineral y las condiciones de operación. Una abertura menor suele producir un producto más fino, pero también puede reducir la capacidad de procesamiento o aumentar la exigencia mecánica del equipo.

Antes de alimentar la chancadora, se debe comprobar que el tamaño de los fragmentos sea compatible con la abertura de alimentación y que el material no contenga objetos extraños capaces de bloquear o dañar el mecanismo.

Procedimiento operativo del chancado primario

1. Verificar la identificación. Confirmar el código de la muestra y comprobar que corresponda al material programado.

2. Revisar el equipo. Inspeccionar visualmente las condiciones externas, las protecciones, la abertura de alimentación y los dispositivos de seguridad.
3. Comprobar la limpieza. Verificar que no queden restos de muestras anteriores en las superficies accesibles de contacto.
4. Preparar el material. Retirar únicamente los elementos extraños cuya eliminación esté autorizada y documentar cualquier incidencia relevante.
5. Verificar la alimentación. Confirmar que los fragmentos sean compatibles con la capacidad del equipo.
6. Procesar la muestra. Alimentar el material según el procedimiento del fabricante, evitando sobrecargas y acumulaciones.
7. Recuperar el producto. Recoger la descarga en un recipiente limpio e identificado, evitando derrames y pérdidas de partículas.
8. Inspeccionar el resultado. Comprobar visualmente que el producto se encuentre dentro de las condiciones esperadas y detectar fragmentos excesivamente grandes.
9. Registrar la operación. Documentar la etapa realizada, el equipo utilizado y las incidencias que puedan afectar la preparación.

Si el material presenta fragmentos que no alcanzan el tamaño requerido, debe evaluarse su reprocesamiento conforme al procedimiento autorizado. No se deben introducir piezas manualmente en zonas peligrosas ni intentar liberar bloqueos mientras el equipo se encuentre en funcionamiento.

Chancado secundario

El chancado secundario reduce el tamaño del material procedente del chancado primario hasta alcanzar la granulometría requerida para las siguientes operaciones de preparación. Esta etapa permite obtener un producto más uniforme y adecuado para la división de la muestra.

Según la dureza del mineral, el tamaño de alimentación y el producto requerido, pueden utilizarse chancadoras de mandíbulas con una abertura ajustada, chancadoras de rodillos u otros equipos compatibles con el procedimiento del laboratorio. No existe una configuración única para todas las muestras.

En una chancadora de rodillos, el material pasa entre dos superficies cilíndricas que ejercen fuerzas de compresión y reducen progresivamente el tamaño de los fragmentos. La separación entre rodillos influye en el tamaño del producto, aunque la granulometría final también depende de las características del material y del funcionamiento del equipo.

Procedimiento operativo

1. Confirmar la procedencia. Verificar que el material recibido corresponda a la misma muestra procesada en la etapa anterior.
2. Comprobar la granulometría de entrada. Revisar que el producto primario sea compatible con la capacidad del equipo secundario.
3. Inspeccionar y limpiar el equipo. Comprobar las superficies de contacto, las protecciones y las condiciones operativas.
4. Ajustar la configuración. Seleccionar la abertura o separación de trabajo según el procedimiento establecido.

5. Alimentar de forma controlada. Evitar sobrecargas y mantener el suministro dentro de las condiciones permitidas por el fabricante.
6. Recuperar el producto. Recoger el material en un recipiente limpio e identificado, procurando recuperar toda la muestra.
7. Verificar el resultado. Evaluar si la granulometría obtenida es compatible con la etapa siguiente.
8. Registrar las condiciones. Anotar el equipo, los ajustes relevantes, las incidencias y el estado final del material.

El chancado secundario no debe utilizarse para corregir indiscriminadamente problemas de preparación anteriores. Si se detecta una mezcla de muestras, una pérdida importante de material o una identificación dudosa, debe detenerse el proceso y evaluarse la incidencia.

Control de pérdidas y contaminación cruzada

La contaminación cruzada ocurre cuando partículas de una muestra anterior se incorporan a otra durante el procesamiento. Puede modificar la composición química de la muestra y generar resultados analíticos incorrectos. El riesgo aumenta cuando se procesan materiales con leyes muy diferentes o cuando quedan partículas retenidas en las superficies internas del equipo.

Para prevenirla, se deben aplicar procedimientos de limpieza compatibles con el equipo y el tipo de material. La limpieza debe abarcar las superficies de contacto accesibles, los recipientes de recepción y las herramientas auxiliares.

Las medidas preventivas incluyen:

- Limpiar el equipo entre muestras según el procedimiento establecido.
- Verificar que no queden fragmentos retenidos en zonas accesibles.
- Evitar el uso de recipientes sin identificación.
- Mantener separadas las muestras durante la preparación.
- Recuperar cuidadosamente el material sin mezclarlo con residuos de limpieza.
- Documentar cualquier pérdida, derrame o sospecha de contaminación.

En algunos laboratorios se utilizan materiales de limpieza intermedios o se establece un orden de procesamiento para reducir el riesgo de contaminación. Estas medidas deben estar definidas por el procedimiento interno; no sustituyen la limpieza ni garantizan por sí solas la ausencia de contaminación.

La pérdida de partículas finas también merece atención. Si una parte del material se adhiere al equipo o se dispersa durante la operación, la muestra recuperada puede dejar de representar la composición original. No debe descartarse material adherido sin evaluar el procedimiento aplicable.

Verificación de la granulometría

La granulometría de descarga debe ajustarse a las necesidades de la siguiente etapa. La inspección visual permite detectar fragmentos grandes o una distribución claramente

irregular, pero no sustituye una medición cuando se requiere comprobar el tamaño de manera cuantitativa.

Según el procedimiento, el control puede realizarse mediante tamizado u otro método de determinación del tamaño de partícula. El criterio de aceptación debe definirse previamente, incluyendo el tamaño objetivo y, cuando corresponda, la proporción máxima de material que puede quedar retenida sobre un tamiz determinado.

Si el producto no cumple el requisito establecido, se debe investigar la causa: abertura incorrecta, desgaste de las superficies de trituración, alimentación inadecuada o características particulares del mineral. El reprocesamiento debe efectuarse bajo condiciones controladas, evitando ciclos innecesarios que puedan aumentar las pérdidas, la contaminación o el desgaste del equipo.

La granulometría requerida no debe fijarse de manera arbitraria. Depende del método de preparación posterior, de la masa de muestra disponible y de las exigencias del análisis.

Seguridad durante el chancado

Las chancadoras presentan riesgos mecánicos y operativos que deben controlarse antes, durante y después del procesamiento. Entre los principales se encuentran el atrapamiento en partes móviles, la proyección de fragmentos, la exposición al polvo mineral, el ruido y los riesgos eléctricos.

Las medidas esenciales incluyen:

- Protecciones y enclavamientos: no operar el equipo si faltan protecciones o si los dispositivos de seguridad presentan fallas.
- Aislamiento de energías: antes de limpiar internamente, retirar material atascado o realizar mantenimiento, detener el equipo y aplicar el procedimiento de bloqueo y etiquetado de energías (LOTO), cuando corresponda.
- Control de polvo: utilizar los sistemas de extracción o supresión previstos y la protección respiratoria determinada por la evaluación de riesgos.
- Protección personal: emplear protección ocular, auditiva, calzado de seguridad y otros EPP requeridos para el área.
- Alimentación segura: utilizar los dispositivos apropiados para introducir el material; nunca introducir las manos en la abertura de alimentación.
- Control de ruido y proyecciones: mantener las condiciones operativas establecidas y evitar permanecer en zonas de exposición innecesaria.
- Manipulación de cargas: utilizar técnicas y medios adecuados para trasladar recipientes pesados.

No se deben retirar atascos, ajustar componentes ni limpiar zonas internas mientras exista movimiento o energía peligrosa. Las intervenciones deben realizarse únicamente por personal autorizado y conforme al procedimiento del fabricante y del laboratorio.

Registro y control de la operación

El registro del chancado permite verificar cómo se procesó cada muestra y facilita la investigación de resultados inesperados. Según el sistema del laboratorio, debe incluir:

- Código de la muestra y fecha de procesamiento.
- Etapa realizada: primaria o secundaria.
- Identificación del equipo utilizado.
- Abertura o configuración aplicada, cuando corresponda.
- Granulometría objetivo y resultado del control, si se determina.
- Responsable de la operación.
- Incidencias, pérdidas, atascos o sospechas de contaminación.
- Confirmación de limpieza y estado final del material.
- Identificación del recipiente o destino de la muestra procesada.

La documentación debe mantener la relación entre la muestra original y el producto obtenido después del chancado. Si el material se divide en fracciones, estas deben identificarse y vincularse con el código original conforme al sistema de trazabilidad.

Diferencias entre chancado primario y secundario

Aspecto	Chancado primario	Chancado secundario
Alimentación	Fragmentos relativamente gruesos	Producto del chancado primario
Objetivo	Reducir el tamaño inicial	Alcanzar una granulometría más fina
Equipo habitual	Chancadora de mandíbulas	Chancadora de mandíbulas, rodillos u otro equipo compatible
Control principal	Tamaño máximo de alimentación y descarga	Granulometría requerida para la división posterior
Riesgos específicos	Fragmentos grandes, atascos y proyecciones	Atascos, generación de finos y pérdidas durante la transferencia

El chancado primario y secundario deben producir una reducción controlada del tamaño sin alterar la identidad ni comprometer la representatividad de la muestra. La limpieza, la recuperación del material, el control granulométrico y la seguridad operativa son condiciones esenciales para obtener un producto adecuado para las etapas posteriores.

3.4 Cuarteo: riffle splitter, cuarteo manual y divisor rotatorio

Objetivo del cuarteo

El cuarteo es una operación de preparación mecánica que permite reducir la cantidad de material de una muestra sin perder, en condiciones adecuadas, su representatividad. Se aplica cuando la cantidad obtenida en campo o después del chancado supera la masa necesaria para continuar con las etapas de preparación y análisis.



El objetivo no consiste simplemente en retirar una parte del material, sino en obtener una porción representativa de la muestra original. Para ello, la reducción debe distribuir de manera equilibrada las partículas de diferentes tamaños, composiciones y contenidos minerales. Si se seleccionan únicamente las partículas más visibles, las más finas o las que parecen tener mayor contenido metálico, se introduce un sesgo que puede afectar los resultados del laboratorio.

El cuarteo puede realizarse mediante diferentes métodos, entre ellos el divisor de rifles (riffle splitter), el cuarteo manual por distribución y división del material, y el divisor rotatorio. La selección depende de la granulometría, la masa, la humedad, las características físicas del material, el equipo disponible y el procedimiento establecido por el laboratorio.

El cuarteo suele realizarse después del chancado y antes de la pulverización, aunque también puede aplicarse en otras etapas si el procedimiento de preparación lo requiere. La masa que debe conservarse y la granulometría admisible deben definirse según el método analítico y los requisitos del laboratorio receptor.

Principios para una reducción representativa

Para que el cuarteo sea técnicamente adecuado, deben controlarse varios factores.

- Homogeneidad de la alimentación: el material debe estar suficientemente mezclado para evitar que una zona concentre partículas de características diferentes.
- Distribución de tamaños: las partículas gruesas y finas deben tener oportunidades comparables de ingresar en la fracción seleccionada.
- Integridad de la muestra: no deben perderse finos, polvo, fragmentos adheridos ni partículas durante la operación.
- Ausencia de selección subjetiva: el operador no debe elegir manualmente las partículas que considera más representativas.

- Control de humedad: los materiales húmedos pueden aglomerarse, adherirse a las superficies o distribuirse de manera irregular.
- Prevención de contaminación: el equipo y las superficies de trabajo deben estar limpios y ser adecuados para el tipo de material procesado.
- Reducción progresiva: cuando se necesita una masa considerablemente menor, puede ser preferible realizar varias etapas controladas de división en lugar de retirar una pequeña cantidad de una masa grande sin un procedimiento apropiado.

La representatividad no depende únicamente de utilizar un buen equipo. También depende de cómo se alimenta, se opera y se limpia el divisor, así como del cumplimiento del procedimiento establecido.

Divisor de rifles (riffle splitter)

El riffle splitter es un equipo formado por una serie de canales o compartimentos paralelos que dirigen porciones alternas del material hacia dos recipientes. Los canales suelen estar dispuestos de manera que el material descargado se distribuya entre dos fracciones.

Se utiliza principalmente con muestras secas o suficientemente libres de humedad, con granulometría compatible con la abertura de los canales. Es habitual en laboratorios de preparación de minerales porque permite dividir una muestra de forma rápida y relativamente uniforme.

Procedimiento operativo

1. Verificar el equipo. Comprobar que los canales estén limpios, libres de material adherido y sin obstrucciones. Revisar que los recipientes receptores estén correctamente colocados.
2. Comprobar la compatibilidad. Verificar que la abertura de los canales sea apropiada para el tamaño máximo de partícula. Si los fragmentos son demasiado grandes, pueden bloquear los canales o distribuirse irregularmente.
3. Preparar el material. Asegurarse de que la muestra esté en condiciones adecuadas para fluir. Si presenta humedad excesiva, terrones o aglomeraciones, debe evaluarse el acondicionamiento conforme al procedimiento del laboratorio.
4. Alimentar uniformemente. Distribuir el material sobre la longitud útil del divisor de manera continua y controlada. Evitar descargar toda la muestra en un único punto si esto produce una alimentación desigual.
5. Recoger las fracciones. Permitir que el material se distribuya entre ambos recipientes sin sacudir ni inclinar el equipo durante la operación.
6. Seleccionar la fracción requerida. Conservar la porción designada por el procedimiento. Si se requiere una masa menor, repetir la división de manera controlada, cuando corresponda.
7. Registrar y limpiar. Identificar la fracción conservada, evitar pérdidas durante su transferencia y limpiar el equipo antes de procesar la siguiente muestra.

Ventajas y limitaciones

Entre sus ventajas destacan la rapidez, la sencillez operativa y la posibilidad de obtener dos fracciones mediante un equipo relativamente compacto. Sin embargo, el resultado depende de la abertura de los canales, la granulometría, la humedad y la forma de alimentación.

Un error frecuente consiste en utilizar un divisor con canales demasiado estrechos para el tamaño de las partículas. Esto puede provocar obstrucciones, acumulaciones y separación irregular. Otro error es alimentar el equipo de manera intermitente o concentrar el material en un solo sector.

El riffle splitter no debe considerarse automáticamente adecuado para cualquier muestra. Los materiales muy húmedos, pegajosos, fibrosos o con partículas excesivamente grandes pueden requerir acondicionamiento, otro equipo o un procedimiento específico.

Cuarteo manual

El cuarteo manual es un método de reducción en el que el material se distribuye sobre una superficie limpia y se divide mediante un procedimiento previamente definido. Una modalidad conocida consiste en formar una pila o cono, aplanarla y separarla en cuatro partes; posteriormente, se conservan las fracciones establecidas por el procedimiento y se descartan o reservan las restantes según los objetivos de la preparación.

Este método puede ser útil cuando no se dispone de un divisor mecánico o cuando la masa y las características del material permiten una división manual controlada. No obstante, exige especial cuidado porque el movimiento del material puede generar segregación por tamaño, densidad o forma de las partículas.

Métodos de división de muestras



Procedimiento general

1. Preparar la superficie. Utilizar una superficie limpia, seca cuando corresponda, estable y suficientemente amplia para contener todo el material.

2. Transferir la muestra. Descargar el material con cuidado, evitando pérdidas de polvo y fragmentos pequeños.
3. Mezclar y distribuir. Homogeneizar el material mediante el método autorizado y extenderlo de manera uniforme, procurando no separar las partículas por tamaño.
4. Formar una capa uniforme. Reducir las diferencias de espesor y evitar acumulaciones en los bordes o en el centro.
5. Dividir la muestra. Separar el material en cuatro sectores de dimensiones y masas lo más uniformes posible, utilizando una herramienta limpia y una división claramente definida.
6. Seleccionar las fracciones. Conservar las partes especificadas en el procedimiento. Si se requieren dos cuartos opuestos, deben seleccionarse según una regla preestablecida, no por la apariencia del material.
7. Repetir si es necesario. Si la masa sigue siendo excesiva, repetir la operación con la fracción conservada, siempre que el método sea apropiado.
8. Transferir y registrar. Colocar la fracción seleccionada en un recipiente identificado y documentar cualquier incidencia, pérdida visible o desviación del procedimiento.

Riesgos de sesgo

El cuarteo manual es especialmente sensible a la intervención del operador. Si las partículas gruesas ruedan hacia los bordes o los finos se acumulan en el centro, los sectores resultantes pueden tener composiciones diferentes. También pueden producirse pérdidas de polvo durante la mezcla, la extensión y la transferencia.

No es suficiente que los cuatro sectores tengan un tamaño visual parecido. La igualdad geométrica no garantiza igualdad de masa ni composición. Tampoco debe retirarse material de la superficie de una pila como si representara automáticamente el conjunto.

Por estas razones, el cuarteo manual requiere una técnica uniforme, superficies apropiadas, control de pérdidas y criterios definidos de selección. Cuando la muestra es valiosa, presenta fuerte segregación o exige una elevada precisión, debe evaluarse el uso de un divisor mecánico validado.

Divisor rotatorio

El divisor rotatorio es un equipo diseñado para distribuir el material entre varios recipientes mediante un sistema de alimentación y una unidad que gira o distribuye las porciones de forma repetida. Según el diseño, la muestra pasa desde una tolva o alimentador hacia recipientes receptores que reciben incrementos sucesivos.

Cuando el equipo está correctamente seleccionado y operado, permite una distribución más sistemática del material y reduce la dependencia de la selección manual. Puede resultar especialmente útil en laboratorios que procesan numerosas muestras o necesitan controlar la variabilidad asociada a la división.

Procedimiento operativo

1. Inspeccionar el sistema. Revisar la tolva, el alimentador, los conductos, el mecanismo rotatorio y los recipientes receptores.

2. Confirmar la configuración. Verificar que la velocidad, la alimentación y la disposición de los recipientes correspondan al procedimiento establecido para la muestra.
3. Comprobar la condición del material. Evaluar granulometría, humedad y fluidez. El material debe poder circular sin formar puentes, adherirse de manera significativa ni bloquear el sistema.
4. Cargar la muestra. Introducir el material de forma controlada, evitando sobrecargar la tolva o producir una alimentación irregular.
5. Ejecutar la división. Operar el equipo según las instrucciones del fabricante y el procedimiento del laboratorio, sin introducir herramientas ni manos en mecanismos en movimiento.
6. Recoger las fracciones. Verificar la correcta recepción del material y la identificación de los recipientes.
7. Seleccionar la porción necesaria. Conservar las fracciones definidas por el método. No deben combinarse o descartarse por conveniencia sin autorización del procedimiento.
8. Limpiar y documentar. Eliminar residuos de acuerdo con las instrucciones del equipo, prevenir la contaminación cruzada y registrar las condiciones relevantes de la operación.

Ventajas y limitaciones

El divisor rotatorio puede ofrecer una distribución consistente y una buena repetibilidad cuando la alimentación es estable y el equipo se utiliza dentro de sus condiciones de diseño. También permite trabajar con configuraciones que generan varias fracciones, lo cual facilita obtener una porción de masa adecuada para la siguiente etapa.

Sus limitaciones incluyen el costo, la necesidad de mantenimiento, la correcta configuración del sistema y la compatibilidad con el material. Una alimentación irregular, las obstrucciones, la acumulación de partículas o una velocidad inadecuada pueden afectar la distribución. Por ello, el uso de un divisor rotatorio no elimina la necesidad de verificar el procedimiento y controlar el resultado.

Comparación de los métodos

Criterio	Riffle splitter	Cuarteo manual	Divisor rotatorio
Principio de operación	Canales alternos distribuyen el material en dos fracciones	División física de una capa o pila en sectores	Distribución repetida mediante un sistema rotatorio
Intervención del operador	Moderada	Alta	Moderada, según el diseño
Condición del material	Preferentemente seco y fluido	Depende del método y de la superficie	Compatible con el alimentador y el sistema de distribución
Riesgo principal	Alimentación desigual u obstrucción de canales	Segregación y selección subjetiva	Alimentación irregular o distribución defectuosa
Uso habitual	División rutinaria de muestras chancadas	Operaciones puntuales o sin equipo mecánico	Laboratorios con mayores exigencias de consistencia o procesamiento

Control esencial	Abertura y alimentación uniforme	Distribución, división y selección predefinidas	Alimentación estable, configuración y limpieza
------------------	----------------------------------	---	--

La tabla presenta tendencias generales. La idoneidad de cada método debe determinarse a partir de las características reales de la muestra y del procedimiento aplicable.

Control de calidad durante el cuarteo

El control de calidad debe permitir comprobar que la reducción se realizó sin pérdidas evidentes, contaminación ni desviaciones operativas.

Antes de iniciar, el operador debe confirmar la identificación de la muestra, el equipo previsto, la masa aproximada y la granulometría. Durante la operación debe observar si existen obstrucciones, acumulaciones, segregación, dispersión de polvo o material adherido. Después de dividir, debe verificar que las fracciones estén correctamente recogidas, identificadas y protegidas.

Cuando el procedimiento lo requiera, puede registrarse la masa de entrada, la masa de cada fracción y la masa recuperada. Una diferencia significativa entre la masa inicial y la suma de las fracciones obtenidas debe investigarse, teniendo en cuenta las tolerancias definidas por el laboratorio y las condiciones de pesaje.

La comprobación de masas ayuda a detectar pérdidas, pero no demuestra por sí sola que las fracciones tengan la misma composición. Dos porciones pueden tener masas similares y diferir en contenido mineral si la distribución de partículas fue deficiente.

Los registros mínimos pueden incluir:

- Código de la muestra.
- Fecha y responsable de la operación.
- Método y equipo utilizados.
- Masa de entrada y, cuando corresponda, masas de las fracciones.
- Identificación de la fracción conservada.
- Incidencias, pérdidas visibles u obstrucciones.
- Limpieza del equipo y destino de la muestra.

Seguridad y prevención de contaminación

Antes de limpiar, desatascar o inspeccionar zonas internas del equipo, debe aplicarse el procedimiento de seguridad correspondiente. Si existe riesgo de movimiento inesperado, se debe detener y aislar el equipo conforme al procedimiento de bloqueo y etiquetado (LOTO), cuando sea aplicable. Nunca deben introducirse las manos en canales, tolvas o mecanismos móviles durante el funcionamiento.

El operador debe utilizar el EPP definido por la evaluación de riesgos, incluyendo protección ocular, calzado de seguridad y protección respiratoria cuando la exposición al polvo lo

requiera. La elección de protección respiratoria debe responder al riesgo identificado y a las disposiciones aplicables, no sustituir los controles de ingeniería.

La limpieza entre muestras es esencial para evitar que partículas residuales alteren la composición de la siguiente muestra. Deben prestarse especial atención a canales, tolvas, uniones, bandejas, esquinas y recipientes. Los materiales de limpieza y los residuos deben manejarse de acuerdo con el procedimiento del laboratorio, evitando dispersar polvo o mezclar muestras.

El cuarteo termina cuando la porción requerida ha sido obtenida, identificada y transferida sin desviaciones que comprometan su integridad. La fracción destinada a la siguiente etapa debe conservarse según las condiciones de almacenamiento y trazabilidad establecidas.

3.5 Pulverización, tamizado y control de granulometría

Objetivo de la pulverización

La pulverización es una etapa de la preparación mecánica de muestras minerales que consiste en reducir el tamaño de las partículas hasta obtener un material fino y adecuado para el método analítico posterior. Generalmente se realiza después del chancado y del cuarteo, cuando ya se ha obtenido una porción representativa de la muestra.



Su finalidad es facilitar la homogeneización del material y permitir que la porción utilizada para el análisis represente de manera más consistente la composición de la muestra recibida. En los análisis químicos de minerales, la pulverización contribuye a reducir las diferencias de composición entre partículas, aunque no elimina por sí sola todos los errores de muestreo ni garantiza la exactitud del resultado analítico.

El tamaño final requerido depende del tipo de mineral, de la distribución de los minerales de interés, del método de análisis y de las especificaciones del laboratorio. Por ello, no existe una granulometría única aplicable a todas las muestras.

Una pulverización insuficiente puede dejar partículas gruesas que distribuyan de forma irregular los minerales de interés. Por otro lado, una pulverización excesiva puede incrementar el desgaste de los componentes, generar más polvo, favorecer la contaminación procedente del equipo y modificar las características de determinados materiales sensibles al calentamiento o a la oxidación.

El operador debe cumplir el procedimiento establecido para cada tipo de muestra y verificar que el producto obtenido satisfaga los criterios de granulometría definidos.

Equipos de pulverización

Los equipos se seleccionan según la dureza, abrasividad, cantidad y características del material, así como la granulometría requerida.

Pulverizador de anillos y recipiente. Utiliza elementos de molienda que actúan dentro de un recipiente cerrado. Es habitual en laboratorios de preparación de muestras minerales porque permite obtener material fino en tiempos relativamente cortos. Los materiales de fabricación del recipiente y de los elementos de molienda deben ser compatibles con el análisis previsto, ya que el desgaste puede incorporar elementos extraños a la muestra.

Molino de discos. Reduce el tamaño mediante la acción mecánica de discos enfrentados. Su aplicación depende de la configuración, la dureza del material y el tamaño final requerido. Es necesario comprobar el desgaste de los discos y evitar el uso de una configuración que genere resultados fuera de las especificaciones.

Molinos de bolas u otros sistemas de molienda. Pueden emplearse cuando las características de la muestra y el método de preparación lo justifican. La selección de los medios de molienda debe considerar la posibilidad de contaminación y la compatibilidad con los elementos que se determinarán analíticamente.

La selección del equipo no debe basarse únicamente en la rapidez. Debe tener en cuenta la capacidad de procesamiento, la reproducibilidad, la facilidad de limpieza, la generación de calor, la pérdida de material y el riesgo de contaminación.

Procedimiento operativo de pulverización

Preparación previa

Antes de comenzar, el operador debe verificar que la muestra corresponda al código registrado, que la masa sea adecuada y que el material haya completado las etapas anteriores de preparación. No deben pulverizarse conjuntamente muestras distintas ni combinarse fracciones sin autorización del procedimiento.

También debe comprobarse el estado del equipo: recipiente, anillos, discos, tapas, juntas y demás componentes de contacto con la muestra. Las superficies deben estar limpias, sin

residuos de operaciones anteriores y sin signos de desgaste que puedan afectar la preparación.

La masa de alimentación y el tiempo de pulverización deben ajustarse a las especificaciones del equipo y del procedimiento. Una carga excesiva puede reducir la eficiencia de molienda y producir una granulometría irregular; una carga insuficiente puede afectar la eficiencia operativa y, dependiendo del equipo, aumentar el desgaste relativo.

Ejecución de la operación

1. Identificar la muestra. Confirmar el código y verificar la correspondencia con la orden de preparación.
2. Comprobar el material. Asegurarse de que la muestra tenga la granulometría y las condiciones de humedad compatibles con el equipo.
3. Cargar el recipiente. Introducir la masa establecida, evitando pérdidas de finos y derrames.
4. Cerrar y asegurar. Comprobar que la tapa y los sistemas de cierre estén correctamente instalados antes del arranque.
5. Pulverizar. Operar con los parámetros definidos para el material, sin exceder los límites del fabricante.
6. Detener e inspeccionar. Esperar la detención completa antes de abrir el equipo. No retirar la tapa ni introducir herramientas mientras existan partes en movimiento.
7. Recuperar el producto. Transferir el material a un recipiente limpio e identificado, evitando que queden residuos adheridos al recipiente de molienda.
8. Verificar el resultado. Comprobar la granulometría mediante el método especificado y registrar cualquier desviación.
9. Limpiar el equipo. Eliminar los residuos de forma controlada antes de procesar la siguiente muestra.

El tiempo de pulverización no debe determinarse únicamente por la apariencia visual del material. Dos muestras pueden alcanzar una apariencia similar y presentar distribuciones de tamaño diferentes. Por ello, los parámetros deben validarse y controlarse conforme al procedimiento del laboratorio.

Prevención de contaminación durante la pulverización

La contaminación cruzada ocurre cuando material de una muestra anterior pasa a la siguiente. Puede producirse por residuos adheridos al recipiente, los elementos de molienda, las tapas, las juntas o las herramientas de transferencia.

También existe contaminación procedente del propio equipo. El desgaste de los componentes puede incorporar partículas de hierro, cromo, tungsteno u otros elementos, según los materiales de fabricación. Esto resulta especialmente importante cuando se determinan elementos presentes en concentraciones bajas.

Para reducir estos riesgos, se deben aplicar las siguientes medidas:

- Limpiar el equipo entre muestras según el procedimiento validado.

- Inspeccionar las superficies de contacto y comprobar que no queden residuos visibles.
- Controlar el desgaste de los componentes de molienda y sustituirlos cuando corresponda.
- Utilizar equipos o materiales de molienda compatibles con los elementos que se van a analizar.
- Evitar la pérdida de finos durante la descarga y transferencia.
- Aplicar procedimientos específicos cuando una muestra presente características que incrementen el riesgo de contaminación.
- Registrar las incidencias que puedan afectar la calidad del producto.

La limpieza visual es necesaria, pero no siempre demuestra que el equipo esté libre de contaminación. Cuando el riesgo analítico lo justifique, pueden utilizarse procedimientos de verificación, materiales de control o secuencias de preparación definidas por el laboratorio.

Tamizado de muestras minerales

El tamizado es una operación que permite separar o clasificar partículas según su tamaño mediante una superficie provista de aberturas de dimensiones conocidas. Se utiliza para comprobar la granulometría del material, evaluar la eficiencia del chancado o la pulverización y verificar si se cumplen los requisitos establecidos para una etapa de preparación.

El tamizado no debe confundirse con el cuarteo. El cuarteo reduce la cantidad de muestra procurando conservar su representatividad, mientras que el tamizado separa partículas en fracciones granulométricas. Si se retiene únicamente una fracción del tamizado, se modifica la composición de la muestra y esa decisión debe estar expresamente contemplada en el procedimiento.

Equipos y materiales

Los principales elementos utilizados son:

- Tamices: mallas con aberturas definidas, identificadas por su abertura nominal o designación correspondiente.
- Agitador de tamices: equipo que produce movimientos controlados para facilitar la separación de partículas.
- Balanza: permite determinar la masa inicial y la masa de cada fracción.
- Recipientes colectores: bandejas o fondos que reciben las partículas que atraviesan el tamiz de menor abertura.
- Brochas y herramientas de limpieza: se utilizan para retirar residuos sin deformar la malla ni alterar sus aberturas.

Los tamices deben encontrarse limpios, sin deformaciones y con las mallas en condiciones adecuadas. Una abertura dañada o una acumulación de partículas puede alterar los resultados. La identificación de cada tamiz y su estado de conservación deben verificarse periódicamente.

Procedimiento de tamizado

1. Definir el objetivo. Determinar si se necesita verificar el tamaño máximo, comprobar un porcentaje de material que pasa por una abertura o construir una distribución granulométrica.
2. Seleccionar los tamices. Elegir las aberturas apropiadas para el material y el criterio de aceptación establecido.
3. Preparar la muestra. Obtener una porción representativa y registrar su masa inicial. La masa debe ser compatible con la capacidad de los tamices para evitar sobrecarga.
4. Montar el conjunto. Cuando se utilicen varios tamices, colocarlos en orden de abertura decreciente desde arriba hacia abajo, con el colector al final.
5. Realizar el tamizado. Aplicar el movimiento y el tiempo establecidos por el procedimiento. Evitar presionar las partículas a través de la malla o utilizar métodos que puedan dañarla.
6. Recuperar las fracciones. Recoger cuidadosamente el material retenido en cada tamiz y el material acumulado en el colector.
7. Pesar las fracciones. Registrar la masa de cada fracción con la precisión adecuada para la cantidad procesada.
8. Comprobar el balance de masa. Comparar la suma de las masas recuperadas con la masa inicial e investigar diferencias superiores a las tolerancias establecidas.
9. Limpiar y registrar. Limpiar los tamices de forma apropiada, identificar los resultados y documentar cualquier incidencia.

Cuando el material contiene partículas finas que tienden a aglomerarse, el tamizado en seco puede no separar correctamente los tamaños. En esos casos, el laboratorio debe determinar si corresponde un procedimiento alternativo, como el tamizado húmedo, siempre que sea compatible con las características del material y con el objetivo de la medición.

Control de granulometría

La granulometría describe la distribución de las partículas según su tamaño. Su control permite verificar si el material cumple los requisitos de preparación para la etapa siguiente y detectar problemas como un chancado insuficiente, una pulverización irregular o una variación en el funcionamiento del equipo.

El control puede realizarse mediante tamizado, análisis granulométrico instrumental u otro método validado. La elección depende del intervalo de tamaños, de las características del material y de la precisión requerida.

En el laboratorio de preparación de minerales, el control debe estar relacionado con un criterio concreto. Por ejemplo, el procedimiento puede exigir que un porcentaje determinado de la muestra pase por un tamiz específico. Ese porcentaje y la abertura correspondiente deben definirse en el protocolo de preparación; no deben asumirse como valores universales.

Cálculos básicos

Para expresar la distribución granulométrica mediante tamices, se calcula el porcentaje retenido de cada fracción:

$$\text{Retenido (\%)} = \frac{\text{Masa retenida}}{\text{Masa inicial}} \times 100$$

El porcentaje retenido acumulado corresponde a la suma de los porcentajes retenidos en ese tamiz y en todos los tamices de mayor abertura.

El porcentaje que pasa por un tamiz se calcula como:

$$\text{Pasa (\%)} = 100 - \text{Retenido acumulado (\%)}$$

Estas expresiones suponen que las masas están referidas a una misma base y que el balance de masa es aceptable. Si la recuperación de material es deficiente, los porcentajes calculados pueden resultar engañosos y debe investigarse primero la pérdida.

Ejemplo de cálculo

Una muestra de 200 g se somete a tamizado y se obtienen los siguientes resultados:

Fracción	Masa retenida	Retenido (%)
Tamiz superior	20 g	10 %
Tamiz intermedio	50 g	25 %
Tamiz inferior	70 g	35 %
Colector	60 g	30 %
Total	200 g	100 %

En este ejemplo, el material que atraviesa el tamiz inferior y llega al colector representa el 30 % de la masa inicial. El porcentaje retenido acumulado en el tamiz inferior es 70 %, por lo que el porcentaje que pasa por ese tamiz también es 30 %.

La suma de las fracciones recuperadas coincide con la masa inicial. Esto indica que no se observa una pérdida de masa en el balance registrado, aunque no demuestra por sí solo que el tamizado haya sido correcto ni que la muestra sea representativa.

Interpretación de los resultados

Un porcentaje de material grueso superior al permitido puede indicar que el tiempo de pulverización fue insuficiente, que el equipo estaba sobrecargado, que los elementos de molienda presentaban desgaste o que la configuración no era adecuada para la muestra.

Un resultado excesivamente fino también requiere evaluación. Puede reflejar condiciones de molienda más intensas de lo previsto o diferencias en las características del material. No debe interpretarse automáticamente como una mejora, ya que el objetivo es alcanzar la granulometría especificada, no producir el material más fino posible.

Los resultados deben compararse con el criterio de aceptación establecido. Cuando el material no cumple, el operador debe informar la desviación y seguir el procedimiento autorizado. No debe repetir la pulverización, descartar fracciones ni modificar parámetros por iniciativa propia si estas acciones pueden alterar la muestra o el resultado analítico.

Criterios de aceptación y acciones correctivas

La aceptación del material preparado debe basarse en los requisitos documentados del laboratorio o del método analítico. Los criterios pueden incluir el porcentaje que pasa por una abertura determinada, el intervalo granulométrico permitido, la masa mínima disponible y la ausencia de contaminación visible.

Cuando el material no cumple, se deben identificar las causas posibles antes de repetir la operación:

- Granulometría demasiado gruesa: comprobar la carga del equipo, el tiempo de operación, el estado de los elementos de molienda y las condiciones de alimentación.
- Distribución granulométrica irregular: revisar la homogeneidad del material, la selección de la porción de ensayo y las condiciones del tamizado.
- Pérdida de masa: inspeccionar los recipientes, las superficies de trabajo, las juntas y las operaciones de transferencia.
- Posible contaminación: revisar la limpieza, el desgaste de los componentes y la secuencia de procesamiento.
- Resultados no reproducibles: comprobar el método, el estado de los equipos y la consistencia de los parámetros operativos.

Toda desviación debe registrarse y comunicarse al responsable correspondiente. La repetición de una operación solo debe realizarse conforme al procedimiento establecido, preservando la identificación y la trazabilidad de la muestra.

Seguridad durante la pulverización y el tamizado

La pulverización y el tamizado presentan riesgos mecánicos, físicos y de exposición a polvo mineral. Las medidas preventivas deben definirse a partir de la evaluación de riesgos del área y de las instrucciones del fabricante.

Las principales medidas de seguridad incluyen:

- Mantener instaladas las guardas y protecciones del equipo.
- No abrir tapas ni retirar recipientes mientras existan elementos en movimiento.
- Detener, aislar y bloquear el equipo antes de intervenir en atascos, realizar limpieza interna o efectuar mantenimiento, conforme al procedimiento aplicable.
- Controlar la exposición al polvo mediante extracción localizada y otros controles de ingeniería.
- Utilizar protección respiratoria, ocular y auditiva según los riesgos identificados.
- Evitar la limpieza con aire comprimido cuando pueda dispersar polvo peligroso.
- Mantener las superficies de trabajo limpias y retirar derrames mediante métodos que reduzcan la dispersión de partículas.
- Verificar el estado de cables, conexiones, interruptores y sistemas de parada.

La pulverización puede generar calor y ruido, además de polvo respirable. La composición del mineral debe considerarse al establecer los controles, especialmente cuando existe posibilidad de exposición a sílice cristalina u otros componentes peligrosos.

El mantenimiento, la limpieza y la manipulación de componentes desgastados deben realizarse por personal autorizado y de acuerdo con las instrucciones correspondientes.

Registro de la preparación y entrega del material

La documentación permite reconstruir las operaciones realizadas y comprobar si el material cumple las condiciones requeridas para el análisis. El registro debe ser suficientemente claro para que otro operador pueda identificar qué se hizo, con qué equipo y bajo qué criterios.

Como mínimo, se recomienda documentar:

- Código de identificación de la muestra.
- Fecha y responsable de la operación.
- Equipo utilizado y, cuando corresponda, identificación de sus componentes de molienda.
- Masa de entrada y masa final recuperada.
- Parámetros de pulverización definidos por el procedimiento.
- Tamices utilizados y resultados granulométricos.
- Criterio de aceptación y estado de conformidad.
- Incidencias, pérdidas, contaminación sospechada o acciones correctivas.
- Identificación del recipiente final y destino de la muestra.

Antes de entregar el material a la siguiente etapa, el operador debe comprobar que el recipiente esté limpio, correctamente identificado y cerrado cuando corresponda. También debe confirmar que se haya conservado la cantidad necesaria para el análisis y que cualquier fracción adicional se gestione según las instrucciones del laboratorio.

La preparación no termina cuando el equipo deja de funcionar, sino cuando el material ha sido recuperado, verificado, identificado y registrado conforme al procedimiento.

Módulo 4: Control de Calidad y Aseguramiento (QA/QC)

4.1 Duplicados, blancos y estándares de referencia

Objetivo del control de calidad en el análisis de muestras minerales

El control de calidad (QC, Quality Control) y el aseguramiento de la calidad (QA, Quality Assurance) son componentes esenciales de un programa de muestreo y análisis mineral. Su finalidad es evaluar si los resultados obtenidos son suficientemente confiables para respaldar decisiones técnicas, estimaciones de leyes, control de procesos y evaluación de recursos minerales.



El QA comprende las medidas planificadas para prevenir errores y asegurar que las operaciones se realicen conforme a procedimientos definidos. Incluye protocolos de muestreo, capacitación del personal, control de equipos, trazabilidad, métodos de preparación y selección de laboratorios.

El QC comprende las comprobaciones utilizadas para detectar errores, evaluar la precisión y reconocer posibles sesgos durante el muestreo, la preparación y el análisis. Entre sus herramientas más utilizadas se encuentran los duplicados, los blancos y los materiales de referencia certificados (MRC).

Estos controles cumplen funciones distintas y complementarias. Los duplicados permiten evaluar la variabilidad entre resultados; los blancos ayudan a detectar contaminación; y los materiales de referencia permiten comprobar si los resultados son compatibles con un valor de referencia conocido. Ninguno de estos controles, utilizado de forma aislada, garantiza la calidad completa de una campaña de muestreo.

El personal de muestreo y preparación debe conocer su finalidad, respetar los procedimientos establecidos, identificar correctamente los controles y registrar las incidencias. La interpretación de los resultados y la decisión de aceptar o rechazar un lote analítico corresponden a las responsabilidades definidas por el sistema de calidad del proyecto o laboratorio.

Duplicados de control

Un duplicado es una muestra adicional que se obtiene o procesa con el propósito de comparar resultados y evaluar la variabilidad de una o varias etapas del trabajo. Aunque dos resultados de duplicados deberían ser comparables dentro de límites razonables, no necesariamente serán idénticos.

La diferencia puede deberse a la heterogeneidad natural del mineral, al procedimiento de toma de muestra, a la reducción de masa, a la preparación mecánica, a la pulverización o a la variabilidad del método analítico.

Tipos principales de duplicados

Duplicados de campo. Se obtienen durante la operación de muestreo, siguiendo un procedimiento definido. Permiten evaluar principalmente la variabilidad asociada al muestreo y a la heterogeneidad del material, aunque también incorporan variaciones de las etapas posteriores.

En una muestra de canal, por ejemplo, el procedimiento puede establecer la toma de una segunda muestra independiente en condiciones comparables. No debe suponerse que dos porciones tomadas de una misma bolsa constituyen duplicados de campo: ambas procederían de una única muestra ya obtenida.

Duplicados de rechazo grueso. Se preparan a partir del material chancado que queda después de una división. Dos porciones se procesan por separado siguiendo el protocolo establecido. Estos duplicados permiten evaluar la variabilidad asociada a la división y a la heterogeneidad del material chancado, además de la variabilidad de las etapas posteriores.

Duplicados de pulpa. Se obtienen mediante la división de material pulverizado. Las porciones se analizan por separado. Permiten evaluar principalmente la repetibilidad de las etapas analíticas y la homogeneidad del material pulverizado, aunque los resultados también pueden verse afectados por la división de la pulpa y por la preparación final de cada porción.

La interpretación depende de la etapa en que se introduce el duplicado. Un duplicado de pulpa no permite evaluar por sí solo si el muestreo inicial fue representativo.

Procedimiento general

1. Confirmar el tipo de duplicado requerido y el punto del proceso en que debe incorporarse.
2. Obtener o seleccionar el material según el protocolo aprobado, sin elegir manualmente las partículas por su apariencia.
3. Asignar y registrar los códigos correspondientes, manteniendo la relación entre la muestra original y el duplicado en los registros autorizados.
4. Asegurar que ambas porciones sigan las etapas de preparación y análisis previstas para ese tipo de control.
5. Registrar los resultados y compararlos mediante los criterios estadísticos definidos por el proyecto o laboratorio.

6. Informar las diferencias que superen los límites de aceptación establecidos y conservar la documentación para su evaluación.

Los códigos de duplicados deben gestionarse de manera que no se pierda la trazabilidad. Cuando el diseño de control lo requiera, el laboratorio puede recibir identificadores que no revelen directamente qué muestras son duplicadas, reduciendo el riesgo de influir involuntariamente en la operación analítica.

Inserción de controles QA/QC



Interpretación de las diferencias

La comparación de duplicados permite estimar la precisión, es decir, el grado de concordancia entre resultados obtenidos bajo condiciones especificadas. La precisión no equivale a la exactitud: dos resultados pueden ser muy similares y, al mismo tiempo, presentar un sesgo respecto del valor verdadero o de referencia.

Cuando se comparan dos resultados positivos, puede utilizarse una diferencia relativa porcentual, siempre que sea adecuada para el intervalo de concentración y el protocolo aplicado:

$$\text{Diferencia relativa (\%)} = \frac{|R_1 - R_2|}{(R_1 + R_2)/2} \times 100$$

Donde:

- R_1 es el resultado de la primera muestra.
- R_2 es el resultado del duplicado.

Ejemplo: una muestra presenta una ley de oro de 2,40 g/t y su duplicado registra 2,16 g/t.

La diferencia absoluta es 0,24 g/t y la media de ambos resultados es 2,28 g/t. La diferencia relativa es aproximadamente 10,53 %.

Este valor debe compararse con el criterio de aceptación establecido para el proyecto. No puede concluirse que el resultado sea aceptable o inaceptable sin conocer ese criterio, la concentración, el tipo de duplicado y el método analítico. En concentraciones cercanas al límite de detección, las diferencias relativas pueden resultar inestables o poco informativas, por lo que pueden ser necesarios otros criterios de evaluación.

Blancos de control

Un blanco es un material que, según el propósito del control, debe presentar una concentración nula o suficientemente baja de los elementos de interés. Se incorpora al flujo de trabajo para detectar posibles contaminaciones que puedan generar resultados artificialmente elevados.

En la práctica, un blanco no siempre está compuesto por una sustancia absolutamente libre de todos los elementos analizados. Su composición debe ser conocida y adecuada para el objetivo del control. Lo importante es que el material permita identificar una contaminación significativa respecto de los límites establecidos.

Tipos de blancos

Blanco de preparación. Es un material de baja concentración conocido que se introduce en una secuencia de preparación para comprobar si el chancado, el cuarteo, la pulverización, los equipos o la manipulación introducen contaminación. Su ubicación exacta depende del diseño del programa QA/QC.

Blanco de campo. Se incorpora durante las actividades de campo conforme al protocolo del proyecto. Su función es evaluar posibles contaminaciones relacionadas con la manipulación, los recipientes, los utensilios, el transporte u otras operaciones de muestreo. El material y el procedimiento deben ser adecuados al tipo de muestra y al riesgo que se pretende controlar.

Blanco analítico. Se utiliza en el proceso analítico para evaluar la posible contribución de reactivos, recipientes, instrumentos y otras fuentes de contaminación propias del método. Su preparación y tratamiento deben seguir las instrucciones del laboratorio.

Estos tipos de blancos no son intercambiables. Un blanco analítico satisfactorio no demuestra por sí solo que no hubo contaminación durante el muestreo o la preparación mecánica.

Procedimiento de control

1. Verificar que el material utilizado como blanco sea apropiado para el elemento y el método de análisis.
2. Confirmar su identificación, procedencia, lote y valor de referencia o concentración esperada, cuando corresponda.
3. Incorporarlo en la etapa y posición previstas en el protocolo.
4. Manipularlo con los mismos cuidados de identificación, almacenamiento y transporte que los demás controles.
5. Evitar el contacto con materiales, herramientas o superficies que puedan introducir los elementos que se pretende controlar.

6. Revisar los resultados y compararlos con los límites establecidos.
7. Registrar cualquier resultado anómalo y comunicarlo al responsable de QA/QC.

Los blancos deben introducirse en la secuencia de trabajo según un diseño definido, no únicamente cuando el operador sospeche que existe contaminación. La selección de su posición puede ayudar a investigar posibles fuentes de contaminación entre muestras de leyes altas y muestras de leyes bajas.

Interpretación de los resultados

Un resultado superior al límite de aceptación puede indicar contaminación procedente del equipo, de los recipientes, de la manipulación, de los reactivos o de otras etapas. Sin embargo, el resultado de un blanco debe interpretarse junto con la secuencia de preparación, los resultados de las muestras cercanas, los antecedentes del equipo y los demás controles.

Por ejemplo, si un blanco colocado después de una muestra con una ley muy elevada presenta también una concentración elevada, debe investigarse la posibilidad de arrastre de material. No obstante, la coincidencia no demuestra automáticamente que esa sea la causa; es necesario revisar la secuencia y las evidencias disponibles.

Las acciones correctivas pueden incluir la inspección y limpieza del equipo, la revisión de la secuencia de preparación, el análisis de nuevos controles y la evaluación de las muestras potencialmente afectadas. La decisión de repetir análisis o rechazar resultados debe seguir el procedimiento autorizado.

Estándares de referencia certificados

Los materiales de referencia certificados (MRC) son materiales suficientemente homogéneos y estables para uno o varios parámetros, cuyos valores de propiedad se han determinado mediante procedimientos metrológicamente válidos y se acompañan de la documentación correspondiente, incluida la incertidumbre y la trazabilidad aplicables.

En la práctica minera, suelen utilizarse materiales de referencia con concentraciones conocidas de oro, plata, cobre u otros elementos de interés. Se seleccionan para que sean adecuados al tipo de mineral, al intervalo de leyes y al método analítico que se utilizará.

El objetivo es comprobar si el laboratorio obtiene resultados compatibles con valores de referencia aceptados. A diferencia de los duplicados, que evalúan la concordancia entre resultados, los estándares permiten evaluar la exactitud o, de manera más operativa, identificar indicios de sesgo analítico.

Selección del material de referencia

El estándar debe ser adecuado para el programa analítico. Entre los aspectos que deben considerarse se encuentran:

- Elemento de interés: el material debe contar con un valor certificado para el parámetro que se desea controlar.

- Intervalo de concentración: es conveniente que los valores de referencia cubran niveles relevantes para el proyecto, desde concentraciones bajas hasta leyes elevadas, según corresponda.
- Matriz mineralógica: el material debe ser suficientemente comparable con las muestras del proyecto en aquellos aspectos que puedan influir en el método analítico.
- Método de análisis: debe comprobarse que el estándar sea apropiado para la técnica utilizada.
- Homogeneidad y estabilidad: el material debe mantener características adecuadas durante su almacenamiento y uso.
- Documentación: el certificado debe identificar el material, los valores asignados, las incertidumbres, los métodos de caracterización y las condiciones de uso pertinentes.

Un estándar con una concentración muy alejada de la mayoría de las muestras puede ser insuficiente para evaluar el comportamiento del método en todo el intervalo de trabajo. Por eso, los programas de control pueden utilizar varios materiales de referencia.

Incorporación y manejo

1. Comprobar el código, el lote y la documentación del material de referencia.
2. Verificar las condiciones de almacenamiento y manipulación indicadas por el proveedor.
3. Incorporar el estándar en la secuencia de muestras según la frecuencia y ubicación definidas por el programa QA/QC.
4. Asegurar que atraviese las etapas de preparación y análisis previstas para el control que se desea evaluar.
5. Comparar el resultado obtenido con el valor certificado y los criterios de aceptación.
6. Registrar el resultado, la identificación del estándar, el lote, el método analítico y cualquier desviación.
7. Comunicar los resultados fuera de los límites establecidos para su investigación.

Los estándares deben manejarse evitando la contaminación, la pérdida de material y las confusiones de identificación. No deben sustituirse por un material de composición supuestamente similar sin una evaluación y autorización documentadas.

Interpretación de los resultados

Si el resultado analítico de un estándar es compatible con el valor certificado dentro de los criterios definidos, el control no presenta una desviación detectable según ese criterio. Si el resultado es significativamente superior o inferior, puede existir un sesgo analítico, un problema de calibración, una desviación en la preparación o una incidencia relacionada con el material de control.

Un estándar con un resultado alto puede indicar un sesgo positivo; uno con un resultado bajo puede indicar un sesgo negativo. Sin embargo, la causa no debe asignarse sin investigación. Deben revisarse los resultados de otros estándares, los blancos, la calibración, los reactivos, la preparación y la secuencia analítica.

Es importante distinguir entre un material de referencia certificado y un material interno de control. Un material interno puede ser útil para vigilar la estabilidad de un proceso, pero no debe presentarse como certificado si no dispone de la certificación correspondiente.

Comparación de los principales controles QA/QC

Control	¿Qué permite evaluar?	Etapas principales de interés	Señal de alerta
Duplicado de campo	Variabilidad del muestreo y heterogeneidad del material	Muestreo y etapas posteriores	Diferencias superiores al criterio establecido
Duplicado de rechazo grueso	Variabilidad de la división y preparación posterior	Preparación y análisis	Baja concordancia entre resultados
Duplicado de pulpa	Variabilidad de la pulpa y de las etapas analíticas posteriores	Análisis y división de pulpa	Diferencias anormales entre resultados
Blanco	Contaminación introducida durante las etapas que cubre el control	Campo, preparación o análisis, según el tipo	Concentración superior al límite establecido
Estándar de referencia certificado	Compatibilidad del resultado con un valor certificado y posibles sesgos	Preparación y análisis, según su incorporación	Resultado fuera de los límites de aceptación

La ubicación de cada control determina qué parte del proceso puede evaluarse. Por ejemplo, un duplicado preparado a partir de una pulpa no permite descartar errores cometidos durante la toma de muestra original. Del mismo modo, un blanco analítico no controla automáticamente todas las fuentes de contaminación presentes en campo.

Frecuencia de inserción y criterios de aceptación

La frecuencia de inserción de duplicados, blancos y estándares debe definirse en el protocolo QA/QC del proyecto. Depende del tipo de mineral, la variabilidad de las leyes, la cantidad de muestras, los riesgos identificados, el método analítico y los requisitos técnicos aplicables.

No existe una única proporción válida para todas las campañas. El proyecto puede establecer una cantidad mínima de controles por lote, una frecuencia determinada o una combinación de ambos criterios. También debe definir cómo se distribuyen los controles en la secuencia y qué medidas se adoptan cuando un resultado no cumple los requisitos.

Los criterios de aceptación deben quedar establecidos antes de interpretar los resultados. Pueden incluir:

- Límites de diferencia entre duplicados.
- Concentración máxima admisible para los blancos.
- Intervalos de aceptación para los estándares de referencia.
- Reglas para identificar resultados atípicos o tendencias.
- Procedimientos para investigar fallos y decidir si corresponde repetir un análisis.

No es correcto modificar los límites después de observar un resultado desfavorable con el único objetivo de aceptarlo. Cualquier cambio metodológico debe justificarse y documentarse.

Qué hacer cuando un control falla

Un control fuera de los límites establecidos debe tratarse como una señal que requiere investigación, no como prueba automática de que todas las muestras del lote son inválidas.

El procedimiento general comprende:

1. Verificar el registro. Confirmar que el código, el resultado y el tipo de control sean correctos.
2. Revisar la secuencia. Identificar las muestras procesadas antes y después del control, cuando sea pertinente.
3. Investigar la causa. Revisar los registros de preparación, limpieza, calibración, reactivos, equipos y posibles errores de manipulación.
4. Evaluar el alcance. Determinar qué muestras o etapas podrían haberse visto afectadas.
5. Aplicar la acción correctiva. Según el procedimiento, puede ser necesario repetir una determinación, reanalizar una porción conservada, preparar nuevamente una muestra o solicitar una evaluación adicional.
6. Documentar el cierre. Registrar la causa identificada, la acción tomada, los resultados posteriores y la autorización correspondiente.

Si no se identifica una causa concluyente, debe conservarse esa incertidumbre en el registro. No se debe atribuir una explicación sin evidencia ni descartar resultados únicamente porque no coincidan con las expectativas del proyecto.

Responsabilidades del muestreador y preparador de muestras

El personal operativo contribuye directamente a la eficacia del programa QA/QC. Aunque no siempre sea responsable de interpretar estadísticamente los resultados, debe ejecutar los procedimientos con rigor y preservar la identidad de los controles.

Sus responsabilidades incluyen:

- Reconocer los códigos de los controles y diferenciarlos de las muestras ordinarias.
- Respetar las instrucciones de preparación, división, almacenamiento y transporte.
- Evitar la contaminación cruzada y las pérdidas de material.
- No sustituir, combinar, descartar ni alterar controles sin autorización.
- Registrar las operaciones y las incidencias de forma completa.
- Informar sobre resultados o situaciones que puedan comprometer la calidad.
- Mantener la trazabilidad entre el control, la muestra y el lote correspondiente.

La calidad de los resultados no depende únicamente del laboratorio analítico. También depende de la correcta ejecución de las operaciones anteriores y de la capacidad de reconstruir lo sucedido cuando aparece una desviación.

Principio fundamental: los duplicados evalúan la concordancia, los blancos ayudan a detectar contaminación y los estándares de referencia permiten evaluar la compatibilidad de los resultados con valores conocidos. Su utilización conjunta ofrece información complementaria para identificar problemas, pero solo funciona cuando los controles están bien seleccionados, correctamente incorporados y evaluados conforme a criterios documentados.

4.2 Control de contaminación cruzada entre muestras

Concepto y origen de la contaminación cruzada

La contaminación cruzada ocurre cuando partículas, residuos o sustancias procedentes de una muestra pasan accidentalmente a otra durante el muestreo, el transporte, la preparación mecánica o el análisis. Este fenómeno puede modificar la composición de la muestra receptora y producir resultados que no representan correctamente el material original.



En minería, el riesgo es especialmente importante cuando se procesan muestras con leyes muy diferentes. Por ejemplo, si después de pulverizar una muestra con alta concentración de oro quedan partículas adheridas al recipiente de molienda, estas pueden incorporarse a la siguiente muestra y producir una ley artificialmente elevada.

La contaminación cruzada debe distinguirse de la contaminación propia del equipo. En el primer caso, el material extraño procede de otra muestra; en el segundo, puede originarse por el desgaste de superficies, componentes de molienda, herramientas o recipientes.

Ambos fenómenos pueden afectar la calidad analítica y deben controlarse mediante procedimientos específicos.

También debe diferenciarse de la heterogeneidad natural del mineral y de los errores de muestreo. Una muestra puede presentar resultados variables sin que exista contaminación cruzada, por ejemplo, si los minerales de interés se distribuyen de forma irregular. Por ello, la investigación de una desviación debe considerar distintas causas posibles.

Fuentes de contaminación durante el trabajo

Muestreo en campo

En campo, la contaminación puede producirse por el uso de herramientas que conservan residuos de una muestra anterior, recipientes reutilizados sin limpieza suficiente o superficies de trabajo contaminadas.

También puede ocurrir cuando se mezclan accidentalmente fragmentos de muestras distintas, se reutilizan bolsas deterioradas o se colocan muestras abiertas en una zona donde hay material disperso.

Las medidas preventivas incluyen limpiar las herramientas entre muestras, utilizar recipientes adecuados, mantener separados los materiales identificados y evitar el contacto de la muestra con superficies que puedan transferir partículas extrañas.

Cuando el protocolo requiere tomar muestras de distintos materiales o intervalos, debe respetarse el orden de trabajo definido y verificarse la identificación antes de transferir el material a su envase.

Chancado y división

Durante el chancado, pueden quedar fragmentos y finos adheridos a las mandíbulas, placas, tolvas, bandejas y conductos de descarga. Estos residuos pueden incorporarse a la muestra siguiente.

Los divisores de rifles y otros sistemas de reducción también pueden retener material en canales, uniones, bordes y recipientes receptores. Si la limpieza no alcanza estas zonas, parte de una muestra puede transferirse inadvertidamente a otra.

El riesgo aumenta cuando existen partículas finas adheridas a superficies, material húmedo o muestras con características físicas que dificultan su descarga completa.

Pulverización

La pulverización constituye una etapa crítica porque produce partículas finas que pueden quedar adheridas al recipiente de molienda, los anillos, discos, tapas y juntas. El material residual puede liberarse durante la siguiente operación.

El riesgo debe evaluarse especialmente cuando se alternan muestras de leyes altas y bajas, cuando se determinan elementos en concentraciones pequeñas o cuando los resultados tienen consecuencias importantes para la evaluación económica del mineral.

La limpieza debe ajustarse al diseño del equipo y al procedimiento validado. No basta con retirar los residuos visibles de la superficie más accesible.

Tamizado, transferencia y almacenamiento

La contaminación también puede producirse durante el tamizado, el pesaje, la división de pulpas, la transferencia a recipientes y el almacenamiento temporal.

Entre las situaciones de riesgo se encuentran:

- Utilizar una misma espátula para varias muestras sin limpiarla.
- Colocar tapas o bandejas de muestras diferentes sobre una superficie común contaminada.
- Dejar recipientes abiertos cerca de operaciones que generan polvo.
- Transferir material utilizando embudos o herramientas con residuos.
- Reutilizar bolsas, frascos o bandejas sin un procedimiento de limpieza autorizado.
- Confundir fracciones de muestras diferentes durante el traslado.

La identificación correcta y la separación física de las muestras son tan importantes como la limpieza de los equipos.

Medidas preventivas para evitar la contaminación cruzada

Limpieza entre muestras

La limpieza entre muestras es una de las principales medidas de control. Su objetivo es eliminar los residuos que podrían transferirse a la siguiente muestra sin dañar el equipo ni dispersar polvo en el área de trabajo.

El procedimiento debe especificar qué componentes se limpian, qué herramientas se utilizan, cómo se retiran los residuos y cómo se comprueba que el equipo está preparado para continuar.

Las acciones habituales incluyen:

- Retirar los restos de material de las superficies de contacto.
- Limpiar tolvas, bandejas, canales, recipientes y herramientas de transferencia.
- Inspeccionar zonas de difícil acceso, juntas y esquinas donde pueden acumularse finos.
- Utilizar los métodos de limpieza autorizados para el equipo y el material procesado.
- Gestionar los residuos de limpieza sin incorporarlos accidentalmente a otra muestra.
- Registrar y comunicar cualquier anomalía que impida asegurar una limpieza adecuada.

El uso de aire comprimido debe evaluarse cuidadosamente, porque puede dispersar polvo respirable y depositar partículas sobre otros equipos o muestras. Se deben priorizar los métodos de limpieza compatibles con el control de polvo y con las instrucciones del fabricante.

Cuando el procedimiento contemple el uso de material de purga o limpieza entre muestras, debe estar validado para el equipo y el objetivo analítico. No se debe introducir cualquier material únicamente para acelerar la limpieza, ya que podría generar contaminación adicional.

Prevención de la contaminación cruzada



Organización de la secuencia de trabajo

La secuencia de preparación puede contribuir a reducir el riesgo de arrastre entre muestras. Cuando el procedimiento del laboratorio lo permita, puede organizarse el procesamiento teniendo en cuenta las diferencias de concentración y el riesgo de contaminación.

Por ejemplo, procesar una muestra de ley muy elevada inmediatamente antes de una muestra de baja concentración puede aumentar las consecuencias de cualquier residuo transferido. En ciertos programas se establece una secuencia específica o una limpieza reforzada después de muestras de alto riesgo.

Sin embargo, no debe cambiarse arbitrariamente el orden de procesamiento. La secuencia debe respetar la trazabilidad, los requisitos del método y las instrucciones del laboratorio.

Las medidas organizativas incluyen:

- Mantener una sola muestra abierta en cada puesto cuando sea posible.
- Separar físicamente las muestras pendientes, en proceso y terminadas.
- Identificar claramente las bandejas y recipientes.
- Evitar el tránsito innecesario de material entre áreas.

- Mantener las herramientas asignadas a cada operación o limpiarlas antes de reutilizarlas.
- Evitar que los residuos de una muestra entren en contacto con otras muestras o controles QA/QC.

Equipos y herramientas

Los equipos deben mantenerse en condiciones que permitan una limpieza eficaz. Las superficies dañadas, los revestimientos deteriorados y las uniones que retienen partículas pueden aumentar el riesgo de contaminación.

El personal debe informar sobre desgaste, acumulaciones persistentes, piezas sueltas o zonas que no pueden limpiarse conforme al procedimiento. La reparación o sustitución de componentes debe realizarse según las instrucciones del fabricante y las responsabilidades asignadas.

Cuando la determinación analítica sea especialmente sensible a determinados elementos, debe evaluarse la compatibilidad de los materiales de contacto. Por ejemplo, componentes metálicos de molienda pueden introducir elementos por desgaste. En estos casos, el control de contaminación cruzada debe complementarse con el control de contaminación propia del equipo.

Verificación mediante blancos y otros controles QA/QC

La limpieza y las medidas preventivas deben complementarse con controles que permitan detectar posibles problemas. Entre ellos se encuentran los blancos de preparación, los materiales de referencia y los duplicados, utilizados según el propósito del programa QA/QC.

Un blanco de preparación de baja concentración, incorporado en una posición definida de la secuencia, puede ayudar a detectar contaminación procedente de los equipos o de las operaciones que atraviesa. Si su resultado supera el límite establecido, debe investigarse la causa y evaluarse qué muestras podrían haberse visto afectadas.

La ubicación del blanco es importante. Un control incorporado antes de una operación no puede evaluar la contaminación introducida exclusivamente en una etapa posterior. Por ello, el diseño del programa debe considerar qué parte del proceso se pretende comprobar.

Los duplicados también pueden ayudar a identificar problemas de repetibilidad, pero una diferencia entre duplicados no demuestra por sí sola que exista contaminación cruzada. La heterogeneidad del material, la división de la muestra y la variabilidad analítica son explicaciones alternativas que deben considerarse.

Los estándares de referencia certificados permiten evaluar la compatibilidad de los resultados con valores conocidos, pero tampoco sustituyen a los blancos para detectar contaminación. Cada control debe interpretarse según su finalidad.

Procedimiento operativo de control

Para reducir el riesgo de contaminación cruzada, el operador debe aplicar una secuencia de trabajo consistente antes, durante y después de cada operación.

Antes de procesar la muestra:

1. Verificar el código de identificación y la correspondencia con la orden de trabajo.
2. Comprobar que el área, los recipientes, las herramientas y el equipo estén limpios.
3. Revisar el estado de las superficies de contacto y detectar residuos de operaciones anteriores.
4. Confirmar si la muestra requiere medidas adicionales por su ley, composición o sensibilidad analítica.
5. Preparar los recipientes necesarios para evitar transferencias improvisadas.

Durante el procesamiento:

1. Mantener la identificación de la muestra durante todas las transferencias.
2. Evitar el contacto con otras muestras, residuos o superficies no controladas.
3. Utilizar las herramientas previstas y limpiarlas antes de reutilizarlas.
4. Evitar pérdidas de finos y dispersión de polvo.
5. Detener la operación e informar al responsable si se produce una mezcla accidental, una pérdida importante o una contaminación sospechada.

Después de procesar la muestra:

1. Recuperar el material sin mezclarlo con residuos del equipo.
2. Cerrar e identificar el recipiente correspondiente.
3. Limpiar las superficies de contacto conforme al procedimiento.
4. Inspeccionar el equipo antes de iniciar la siguiente muestra.
5. Registrar las incidencias y las medidas correctivas aplicadas.

Si se sospecha que una muestra ha sido contaminada, no debe corregirse el resultado mediante una estimación informal ni continuar como si no hubiera ocurrido ninguna incidencia. La muestra debe identificarse, segregarse cuando corresponda y evaluarse de acuerdo con el procedimiento establecido.

Detección e investigación de una contaminación sospechada

La contaminación cruzada puede ser difícil de identificar porque no siempre produce residuos visibles. Por ello, la investigación debe considerar tanto las observaciones operativas como los resultados analíticos.

Las señales que justifican una revisión incluyen:

- Resultados anormalmente elevados en un blanco.
- Una ley inesperada después de procesar una muestra con concentración muy alta.
- Residuos visibles en las superficies de contacto.
- Diferencias inusuales entre duplicados.

- Incidencias documentadas durante la limpieza, transferencia o preparación.
- Resultados incompatibles con los controles históricos del proceso.

Estas señales son indicios, no pruebas definitivas. La investigación debe revisar la secuencia de muestras, el equipo utilizado, los registros de limpieza, los controles QA/QC y los resultados de las muestras potencialmente afectadas.

Las acciones correctivas pueden incluir una limpieza adicional, la revisión del equipo, la preparación de una nueva porción conservada o la repetición de un análisis, siempre que el procedimiento lo autorice. Cuando exista riesgo de que varias muestras hayan sido afectadas, la evaluación debe considerar el conjunto potencialmente comprometido, no solo el resultado más evidente.

La repetición del análisis de una pulpa ya preparada puede ayudar a investigar ciertos problemas analíticos, pero no elimina una contaminación que ya se haya incorporado a esa pulpa durante la preparación. En tal situación, puede ser necesario volver a una fracción anterior conservada o aplicar otra acción definida por el responsable de calidad.

Registro y responsabilidades

La prevención de la contaminación cruzada requiere registros que permitan reconstruir lo ocurrido. La documentación debe incluir, cuando corresponda:

- Identificación de las muestras procesadas.
- Equipo y herramientas utilizados.
- Procedimiento de limpieza aplicado.
- Resultado de los controles relacionados.
- Incidencias observadas y muestras potencialmente afectadas.
- Acciones correctivas y responsable de su autorización.
- Verificación posterior y cierre de la incidencia.

El operador debe registrar los hechos observados sin modificar datos ni atribuir causas que no hayan sido confirmadas. El responsable de QA/QC evalúa la información disponible, determina el alcance del problema y coordina las decisiones sobre la aceptación, repetición o rechazo de resultados según los procedimientos del proyecto.

Principio fundamental: la contaminación cruzada se previene mediante limpieza eficaz, separación de muestras, herramientas adecuadas, una secuencia de trabajo controlada y verificación mediante QA/QC. Cuando se sospecha un incidente, la prioridad es preservar la trazabilidad, identificar las muestras potencialmente afectadas e investigar la causa antes de tomar decisiones sobre los resultados.

4.3 Registro de cadena de custodia y documentación QA/QC

Finalidad de los registros y la documentación

La cadena de custodia y la documentación de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) permiten demostrar cómo se identificaron, manipularon, transportaron, prepararon y

analizaron las muestras minerales, así como qué controles se aplicaron y cuáles fueron sus resultados.

La cadena de custodia registra la transferencia y el control de las muestras entre personas, áreas, instalaciones y laboratorios. Su finalidad es conservar la identidad de cada muestra y permitir reconstruir quién la recibió, cuándo, en qué condiciones y a quién se entregó posteriormente.

La documentación QA/QC, por su parte, registra las medidas utilizadas para evaluar la calidad del proceso. Incluye la identificación de duplicados, blancos y estándares de referencia, sus resultados, los criterios de aceptación, las desviaciones detectadas y las acciones correctivas adoptadas.

Ambos sistemas están relacionados, pero no son equivalentes. Una cadena de custodia correctamente cumplimentada no demuestra por sí sola que una muestra sea representativa ni que el análisis sea exacto. Del mismo modo, unos resultados QA/QC aceptables no sustituyen la documentación que acredita la identidad y el recorrido de las muestras.

Para el muestreador y preparador de muestras, el objetivo práctico es mantener registros completos, coherentes, legibles y verificables, desde la toma de muestra hasta su entrega y procesamiento posterior.

Registro de la cadena de custodia

Información de identificación

Cada muestra debe contar con un código único conforme al sistema del proyecto. Este código debe mantenerse durante las distintas etapas y relacionarse con los registros de campo, recepción, preparación y análisis.

La documentación puede incluir los siguientes datos:

- Código de muestra: identificador único asignado según el protocolo.
- Proyecto y procedencia: mina, zona, frente, sondeo, canal u otra referencia pertinente.
- Fecha y hora: de toma, recepción o transferencia, según el registro.
- Responsable: persona que entrega, recibe o ejecuta la operación.
- Cantidad y tipo de recipiente: número de bolsas, cajas, frascos u otros envases.
- Estado del embalaje: integridad, cierre, precintos y condiciones observadas.
- Destino: área de preparación, almacén, laboratorio o instalación receptora.
- Observaciones: diferencias de identificación, daños, humedad, derrames u otras incidencias.

No todos los registros requieren exactamente los mismos campos. La información obligatoria debe definirse en el procedimiento del proyecto, de modo que las transferencias puedan verificarse sin generar duplicidades innecesarias.

Transferencia y recepción de muestras

Cada transferencia debe quedar documentada en el momento en que se realiza o mediante el sistema autorizado para registrar la operación. La persona que entrega y la que recibe deben poder identificarse, y las cantidades transferidas deben coincidir con las registradas.

Durante la recepción se verifica, según el procedimiento, que los códigos sean legibles, que el número de recipientes coincida con la documentación y que no existan daños o discrepancias que comprometan la identificación o integridad de las muestras.

Si una bolsa llega abierta, un precinto está dañado, falta una muestra o aparece un código ilegible, la incidencia debe registrarse y comunicarse al responsable. No se debe modificar una etiqueta ni asignar un nuevo código de manera informal para resolver el problema.

Cuando se utilicen precintos numerados, sus identificadores deben registrarse si forman parte del protocolo. Un precinto ayuda a evidenciar una posible apertura o manipulación, pero no demuestra por sí solo que el contenido sea representativo ni que nunca haya existido contaminación.

Registro de las etapas internas

La trazabilidad debe mantenerse también dentro del laboratorio. La recepción, el chancado, el cuarteo, la pulverización, el almacenamiento y la entrega al laboratorio analítico pueden generar nuevos registros o identificadores internos.

Cuando una muestra se divide en varias fracciones, debe documentarse la relación entre el código original y los códigos de las fracciones derivadas. Esto permite saber qué material se destinó al análisis, cuál se conservó como rechazo grueso o pulpa y cuál se utilizó para un control QA/QC.

La creación de un identificador interno no debe romper la relación con el código original. Si se utilizan etiquetas adicionales, registros electrónicos o códigos de barras, la correspondencia debe estar definida y ser recuperable.

Documentación específica de QA/QC

Registro de duplicados

Para cada duplicado debe quedar documentado el tipo de control, la etapa en que se generó, su código y la relación con la muestra original en los registros autorizados. También deben conservarse los resultados comparativos y el criterio utilizado para evaluar la diferencia.

La documentación debe permitir distinguir un duplicado de campo de uno de rechazo grueso o de pulpa, porque cada uno aporta información diferente sobre la variabilidad del proceso.

Si la comparación excede el límite de aceptación, el registro debe indicar la incidencia, la evaluación realizada y las medidas adoptadas. No basta con anotar que el resultado fue diferente: debe quedar constancia de cómo se gestionó la desviación.

Registro de blancos

El registro de blancos debe identificar el material utilizado, su tipo, el lote o procedencia cuando corresponda, la posición dentro de la secuencia y el resultado obtenido.

También debe conservarse el límite de aceptación aplicado. Un resultado de blanco no puede interpretarse adecuadamente si se desconoce el criterio con el que debía compararse.

Cuando un blanco presenta una concentración superior a la permitida, la documentación debe permitir identificar las muestras procesadas en condiciones potencialmente relacionadas, revisar los equipos utilizados y reconstruir la secuencia de trabajo.

Registro de estándares de referencia

Para los materiales de referencia certificados, la documentación debe incluir el código del estándar, el lote, el valor certificado pertinente, el resultado analítico y el criterio de aceptación aplicable.

Cuando sea necesario, deben registrarse la incertidumbre del valor certificado, el intervalo de aceptación y la versión de la documentación técnica utilizada. Los valores de referencia no deben copiarse de memoria ni sustituirse por datos de otro material de concentración similar.

Los resultados fuera de los límites establecidos deben identificarse y someterse a evaluación. El registro debe mostrar si se investigó el posible sesgo, si se revisaron otros controles y qué decisión se tomó respecto de las muestras relacionadas.

Formularios y registros operativos

La documentación QA/QC puede mantenerse mediante formularios impresos, hojas de cálculo o un sistema digital. El formato es secundario frente a la integridad, la trazabilidad y la posibilidad de verificar los datos.

Entre los registros más habituales se encuentran los siguientes:

Registro	Información principal	Finalidad
Formulario de cadena de custodia	Códigos, cantidades, responsables, fechas, transferencias y destino	Reconstruir el recorrido de las muestras
Registro de recepción	Muestras esperadas y recibidas, estado de envases y discrepancias	Confirmar la recepción e identificar incidencias
Hoja de preparación	Equipos, operaciones, masas, fracciones y responsables	Documentar las etapas de preparación
Registro de controles QA/QC	Tipo de control, código, posición y resultado	Evaluar la calidad de las operaciones
Registro de desviaciones	Incidencia, muestras afectadas, investigación y medidas correctivas	Documentar la gestión de problemas

Registro de entrega al laboratorio	Relación de muestras, fecha, destino y confirmación de recepción	Verificar la transferencia a la etapa analítica
------------------------------------	--	---

Los registros deben adaptarse a las operaciones reales. No es necesario repetir la misma información en varios formularios si existe un sistema que relaciona correctamente los documentos y permite recuperar los datos cuando se necesitan.

Requisitos de un registro confiable

Un registro debe cumplir, como mínimo, los siguientes principios:

- Identificación inequívoca: cada muestra y cada control deben poder distinguirse sin ambigüedad.
- Legibilidad: la información debe poder interpretarse sin depender de explicaciones informales.
- Completitud: deben registrarse los campos obligatorios y las incidencias relevantes.
- Consistencia: los códigos, las cantidades, las fechas y las transferencias deben coincidir entre los documentos relacionados.
- Oportunidad: la información debe registrarse en el momento de la operación o conforme al procedimiento establecido.
- Trazabilidad de las modificaciones: cualquier corrección debe permitir conocer qué se cambió, quién lo hizo y cuándo, de acuerdo con el sistema utilizado.
- Accesibilidad controlada: los responsables autorizados deben poder consultar la información sin comprometer su integridad.
- Conservación: los registros deben mantenerse durante el periodo definido por el proyecto, el laboratorio o los requisitos aplicables.

Si se utiliza un formulario en papel, las correcciones deben efectuarse de acuerdo con el procedimiento documental, conservando la información original cuando así se requiera. No deben borrarse datos de manera que desaparezca el registro previo.

En sistemas digitales, deben controlarse los permisos de acceso, las modificaciones, las copias de seguridad y la protección de los archivos. Una hoja de cálculo compartida no constituye automáticamente un sistema de trazabilidad confiable: su eficacia depende de los controles aplicados y de cómo se registran las modificaciones.

Ejemplo de trazabilidad documental

Considérese una muestra de mineral identificada como PROY-F01-CAN-0025. El código es ilustrativo y no corresponde a un sistema universal.

El registro puede desarrollarse de la siguiente manera:

1. Muestreo: el responsable registra el código, la ubicación, la fecha y las observaciones pertinentes.
2. Entrega y transporte: se documentan los responsables de la transferencia, la cantidad de recipientes y su estado.
3. Recepción en laboratorio: se verifica la correspondencia entre el material recibido y la relación de muestras esperadas.

4. Preparación mecánica: se registran las operaciones realizadas, los equipos y las fracciones obtenidas.
5. Incorporación de controles: se documentan los duplicados, blancos y estándares incluidos en la secuencia, conforme al protocolo.
6. Entrega para análisis: se registra la relación de muestras y controles enviados al laboratorio analítico.
7. Revisión QA/QC: se comparan los resultados con los criterios establecidos y se documentan las desviaciones detectadas.
8. Cierre documental: se comprueba que las incidencias tengan seguimiento y que los registros relacionados puedan recuperarse.

Si durante el cuarteo se obtiene una fracción destinada al análisis y otra que se conserva como rechazo grueso, la documentación debe establecer la relación entre ambas. Si la fracción destinada al análisis recibe un identificador adicional, ese código debe estar vinculado al original.

Este sistema permite reconstruir qué material fue analizado y qué operaciones se realizaron. Sin embargo, la existencia de todos los registros no demuestra automáticamente que la toma de muestra haya sido representativa ni que cada operación se haya ejecutado correctamente. La documentación debe evaluarse junto con los resultados de control y las evidencias operativas.

Gestión de desviaciones e incidencias documentales

Una desviación es el incumplimiento de un requisito establecido en un procedimiento, especificación o criterio de aceptación. En el trabajo con muestras minerales, puede tratarse de un código incorrecto, una transferencia sin registrar, una diferencia en el número de bolsas, un blanco fuera de límites o la ausencia de un resultado QA/QC obligatorio.

Cuando se detecta una desviación, el personal debe seguir una secuencia documentada:

1. Registrar el hecho: describir qué ocurrió, cuándo se detectó y quién lo identificó.
2. Identificar el alcance: determinar qué muestras, controles, equipos o etapas podrían estar relacionados.
3. Informar al responsable: comunicar la incidencia a la persona encargada de la operación o del sistema QA/QC.
4. Preservar la evidencia: conservar los registros originales, las etiquetas, los resultados y la información disponible.
5. Aplicar la medida autorizada: corregir el registro, inspeccionar el equipo, repetir una operación o evaluar las muestras afectadas, según corresponda.
6. Verificar la solución: comprobar si la medida adoptada resolvió el problema y si quedan riesgos pendientes.
7. Cerrar la incidencia: documentar la decisión final, su justificación y la autorización correspondiente.

Es fundamental diferenciar una corrección documental de una acción correctiva. Corregir un código transcrito incorrectamente puede resolver el error del registro, siempre que la identidad real de la muestra pueda verificarse. Una acción correctiva busca eliminar la causa de una desviación para reducir la probabilidad de que vuelva a ocurrir.

No deben reconstruirse datos a partir de suposiciones ni modificarse registros para hacerlos coincidir artificialmente. Cuando la información no puede verificarse, la incertidumbre debe quedar documentada y ser evaluada por el responsable competente.

Revisión y auditoría de los registros

La revisión documental permite comprobar si la información es coherente y si los procedimientos se han aplicado de forma consistente. Puede realizarse periódicamente o cuando se detectan resultados anómalos, reclamaciones técnicas o discrepancias en la trazabilidad.

Durante la revisión se debe comprobar:

- La correspondencia entre códigos de campo, recepción, preparación y análisis.
- La continuidad de las transferencias y la identificación de los responsables.
- La concordancia entre cantidades registradas y materiales recibidos o entregados.
- La presencia de los controles QA/QC exigidos por el protocolo.
- La existencia de resultados, criterios de aceptación y evaluaciones para cada control.
- La documentación de las desviaciones y las acciones adoptadas.
- La conservación de los registros y la posibilidad de recuperar su historial.

Una auditoría puede detectar registros incompletos, controles omitidos, errores de transcripción o inconsistencias entre sistemas. Sus hallazgos deben documentarse y comunicarse a los responsables correspondientes.

La revisión documental no sustituye la inspección física de los equipos ni la evaluación técnica de los resultados. Ambas fuentes de evidencia deben complementarse cuando sea necesario.

Responsabilidades del personal operativo

El muestreador y el preparador de muestras tienen una responsabilidad directa en la generación de registros confiables. Deben:

- Registrar las operaciones que realizan y las incidencias que observan.
- Verificar la identificación antes de cada transferencia.
- Mantener separados los documentos y materiales de muestras diferentes.
- Cumplir los procedimientos de recepción, preparación y entrega.
- Identificar correctamente los controles QA/QC.
- Informar sobre discrepancias sin ocultarlas ni resolverlas mediante cambios no autorizados.
- Entregar los registros al responsable correspondiente de manera oportuna.

El responsable de QA/QC o la persona designada debe evaluar las desviaciones, verificar los controles y coordinar las decisiones que puedan afectar la aceptación de los resultados. Las funciones específicas deben estar definidas en los procedimientos del proyecto o laboratorio.

Principio fundamental: la cadena de custodia demuestra el recorrido documentado de las muestras, mientras que los registros QA/QC permiten evaluar cómo se controló la calidad del proceso. La confiabilidad depende de que ambos sistemas estén relacionados, sean verificables y reflejen fielmente las operaciones realizadas.

4.4 Errores comunes de muestreo y cómo prevenirlos

El muestreo constituye una de las etapas más sensibles del control de calidad en minería, porque los resultados analíticos solo son útiles si la muestra representa adecuadamente el material del que procede. Un procedimiento técnicamente correcto en el laboratorio no puede compensar por completo una muestra mal seleccionada, contaminada o identificada incorrectamente en campo.

Los errores de muestreo pueden ocasionar estimaciones incorrectas de leyes minerales, decisiones inadecuadas sobre la explotación, pérdidas económicas y discrepancias entre los resultados del campo, la planta de procesamiento y el laboratorio. Por ello, el muestreador debe reconocer las fuentes de error, aplicar medidas preventivas y registrar cualquier desviación que pueda afectar la confiabilidad de los resultados.

Error de selección de la muestra

Este error aparece cuando el material recogido no representa adecuadamente el conjunto que se desea evaluar. Puede ocurrir al seleccionar únicamente fragmentos visibles de mineralización, evitar zonas húmedas o arcillosas, recoger partículas de fácil acceso o elegir material según su apariencia.

En un frente de explotación, por ejemplo, seleccionar solo fragmentos con abundantes sulfuros visibles puede producir una muestra que sobrestime la ley real del material. En una pila de mineral, tomar únicamente material superficial puede ignorar diferencias de granulometría y composición entre las capas externas y el interior.

Medidas preventivas:

- Definir previamente el objetivo, los límites y el método de muestreo.
- Seleccionar los puntos, intervalos o incrementos de acuerdo con un procedimiento establecido.
- Evitar elegir fragmentos por su color, brillo, tamaño o apariencia de mineralización.
- Considerar la heterogeneidad del material y las posibles diferencias entre sectores.
- Registrar las condiciones que impidan obtener una muestra representativa.

La selección debe basarse en criterios técnicos definidos y no en la impresión visual del operador.

Error por extracción incompleta del material

Se produce cuando la muestra no incluye todo el material previsto por el método. En el muestreo por canal, puede deberse a una profundidad irregular, una trayectoria incorrecta o la pérdida de partículas durante la recolección. En una faja transportadora, puede aparecer

cuando el dispositivo de corte no atraviesa toda la sección del flujo o no recoge el incremento completo.

Las partículas gruesas, densas o de determinadas características mineralógicas pueden quedar excluidas de manera sistemática. El resultado puede ser un sesgo, no solamente una variación aleatoria.

Medidas preventivas:

- Respetar la geometría, longitud, anchura y profundidad establecidas para cada muestra.
- Recoger el material desprendido dentro del área definida cuando el procedimiento lo contemple.
- Evitar derrames y pérdidas de finos durante la extracción.
- Comprobar que los dispositivos de muestreo recojan el flujo o volumen previsto.
- No completar una muestra con material de otra zona sin autorización y registro.

La cantidad obtenida no demuestra por sí sola que la muestra sea representativa. También importa cómo se seleccionó y qué fracción del material quedó excluida.

Error por masa insuficiente de muestra

Una masa demasiado pequeña puede no representar adecuadamente un material heterogéneo, especialmente cuando contiene partículas gruesas o una distribución irregular de minerales valiosos. Una o pocas partículas de alta ley pueden influir considerablemente en el resultado de una muestra pequeña.

La masa necesaria depende del tamaño máximo de partícula, la distribución del mineral de interés, la heterogeneidad del material y el procedimiento de preparación. Por tanto, no existe una masa única aplicable a todas las muestras mineras.

Medidas preventivas:

- Aplicar los requisitos de masa establecidos en el protocolo del proyecto o del laboratorio.
- Considerar la granulometría y las características del material antes de definir la cantidad necesaria.
- Evitar reducir la muestra en campo por comodidad o limitaciones del recipiente.
- Consultar al responsable técnico cuando la muestra obtenida sea insuficiente.
- Registrar las muestras incompletas y no compensarlas agregando material sin un procedimiento autorizado.

Cuando sea necesario reducir la masa, la reducción debe realizarse mediante un método de división apropiado y no mediante la selección manual de fragmentos.

Error por segregación granulométrica

La segregación ocurre cuando las partículas se distribuyen de manera desigual según su tamaño, densidad o comportamiento durante el transporte y la manipulación. En una pila, los

fragmentos gruesos pueden concentrarse en determinadas zonas, mientras que los finos se acumulan en otras. Durante la descarga, también pueden producirse diferencias entre las fracciones del material.

Si el muestreador recoge únicamente una zona enriquecida en finos o gruesos, la composición de la muestra puede diferir de la del lote completo.

Medidas preventivas:

- Distribuir los incrementos conforme al diseño de muestreo aprobado.
- Evitar tomar muestras exclusivamente de la superficie de una pila.
- Utilizar métodos adecuados para el muestreo de flujos, cuando sea posible.
- Mantener la integridad de los incrementos durante la recolección y el traslado.
- Aplicar procedimientos específicos cuando existan diferencias importantes de tamaño o densidad.

La segregación no se corrige mezclando superficialmente una pequeña porción del material si la muestra original ya excluyó sectores relevantes.

Error por contaminación cruzada

La contaminación cruzada ocurre cuando material de una muestra pasa a otra durante la extracción, el transporte o la preparación. Puede originarse por herramientas sucias, bandejas reutilizadas sin limpieza, residuos en chancadoras, divisores o pulverizadores, y recipientes contaminados.

Este problema es especialmente importante cuando una muestra de ley elevada precede a otra de baja ley. Los residuos de la primera pueden incrementar artificialmente el resultado de la segunda.

Medidas preventivas:

- Limpiar las herramientas, bandejas y superficies entre muestras según el procedimiento establecido.
- Eliminar los residuos de equipos de chancado y pulverización antes de procesar la muestra siguiente.
- Controlar el orden de procesamiento cuando exista riesgo de arrastre de material.
- Utilizar blancos de preparación u otros controles cuando lo establezca el programa de QA/QC.
- Identificar, investigar y documentar cualquier sospecha de contaminación.

Un resultado analítico inesperado no debe atribuirse automáticamente a contaminación. Es necesario revisar los registros, los controles de calidad y las etapas del proceso para identificar una causa probable.

Error por mezcla, pérdida o alteración de la muestra

Durante la recolección, el transporte y la preparación pueden producirse pérdidas de finos, derrames, mezclas accidentales o alteraciones de la humedad. También puede perderse la relación entre la muestra original y sus fracciones derivadas.

La pérdida selectiva de finos puede modificar la composición de la muestra, mientras que la mezcla de dos muestras diferentes puede invalidar la identificación y el resultado analítico.

Medidas preventivas:

- Utilizar recipientes resistentes, adecuados y correctamente identificados.
- Mantener las muestras cerradas y protegidas durante el traslado.
- Evitar transferencias innecesarias entre recipientes.
- Recuperar y manipular el material conforme al procedimiento, sin descartar fracciones arbitrariamente.
- Mantener la relación documentada entre la muestra original, el rechazo grueso, la pulpa y cualquier otra fracción derivada.

Cuando exista pérdida significativa de material, no debe asumirse que el remanente conserva la composición original. La desviación debe evaluarse antes de continuar el proceso.

Error de cuarteo o división

La división incorrecta puede introducir diferencias entre la fracción enviada al laboratorio y el material que se conserva. Entre las causas frecuentes se encuentran alimentar un divisor de manera irregular, utilizar equipos inadecuados para el tamaño de partícula, trabajar con material excesivamente húmedo o seleccionar manualmente fragmentos para completar una cantidad determinada.

También es posible obtener dos fracciones de masas similares que presenten composiciones diferentes.

Medidas preventivas:

- Seleccionar el método de división según la granulometría, la humedad y las características de la muestra.
- Alimentar los divisores de acuerdo con las instrucciones del equipo.
- Evitar pérdidas de material durante la operación.
- Verificar el estado y la limpieza del divisor.
- No sustituir el procedimiento de división por una selección visual de partículas.

Si una división presenta irregularidades, debe detenerse el proceso y evaluarse si es posible repetirla con material íntegro y bajo condiciones controladas.

Error de secado y preparación mecánica

Un secado inadecuado puede provocar resultados incorrectos de humedad o modificar determinados componentes sensibles al calentamiento. Por otra parte, un chancado o pulverizado insuficiente puede impedir que la porción analizada alcance la granulometría requerida.

Una pulverización excesiva o el desgaste de componentes del equipo también pueden generar problemas, como contaminación por partículas metálicas procedentes de las superficies de contacto.

Medidas preventivas:

- Aplicar las condiciones de secado definidas para el material y el método analítico.
- Controlar las masas antes y después del secado cuando corresponda.
- Verificar el tamaño de partícula después del chancado y la pulverización.
- Inspeccionar el estado de las superficies de contacto de los equipos.
- Mantener los registros de preparación vinculados al código de la muestra.

La preparación mecánica debe cumplir el procedimiento establecido, sin asumir que una muestra visualmente fina está necesariamente preparada de manera adecuada.

Error de identificación y trazabilidad

Una muestra correctamente recolectada puede perder su utilidad si se etiqueta con un código incorrecto, se intercambia con otra o se entrega sin documentación suficiente. Estos errores afectan la relación entre el lugar de origen, la muestra física y el resultado analítico.

Medidas preventivas:

- Asignar un código único a cada muestra.
- Comprobar que la etiqueta del recipiente coincida con el registro de campo.
- Verificar los códigos antes de cada transferencia y durante la recepción en laboratorio.
- Documentar las muestras derivadas y sus relaciones con la muestra original.
- Registrar discrepancias sin modificar datos de manera informal.

Cuando exista una discrepancia de identificación, la muestra debe quedar en condición de observación o retención hasta que el responsable autorizado determine cómo proceder. No se debe reconstruir su identidad mediante suposiciones.

Error de registro e interpretación de resultados

Los datos incompletos o mal transcritos pueden distorsionar la interpretación incluso cuando la muestra física se ha obtenido y preparado correctamente. Entre los ejemplos están registrar una ubicación incorrecta, confundir unidades, omitir la humedad, introducir una ley en el campo equivocado o comparar resultados obtenidos mediante métodos diferentes sin considerar sus limitaciones.

Medidas preventivas:

- Registrar los datos durante la actividad o inmediatamente después.
- Utilizar formatos normalizados y unidades claramente identificadas.
- Verificar los datos transcritos y realizar controles de consistencia.
- Conservar las correcciones con su justificación y trazabilidad.
- Revisar los resultados junto con los registros de muestreo, preparación y QA/QC.

Los valores atípicos deben investigarse antes de descartarse o corregirse. Una diferencia importante puede reflejar un error operativo, pero también una variación geológica real.

Resumen de errores y controles preventivos

Error frecuente	Consecuencia posible	Control preventivo principal
Selección sesgada	Sobreestimación o subestimación de la ley	Aplicar un diseño de muestreo definido
Extracción incompleta	Exclusión de una fracción del material	Respetar el procedimiento de extracción
Masa insuficiente	Representatividad deficiente	Cumplir los requisitos de masa del protocolo
Segregación granulométrica	Composición no representativa	Distribuir adecuadamente los incrementos
Contaminación cruzada	Resultados artificialmente elevados o alterados	Limpieza y controles de preparación
Pérdida o mezcla de material	Alteración de la composición o identidad	Manipulación controlada y recipientes adecuados
División incorrecta	Diferencias entre fracciones	Utilizar un divisor apropiado y bien operado
Preparación inadecuada	Granulometría o humedad incorrectas	Verificar las condiciones del proceso
Error de identificación	Asociación incorrecta entre muestra y resultado	Código único y comprobación documental
Error de registro	Interpretación técnica equivocada	Revisión y trazabilidad de los datos

Actuación ante una desviación

Cuando el muestreador detecta un error o una condición que puede afectar la confiabilidad de la muestra, debe actuar de forma ordenada:

1. Detener la actividad, si continuar puede agravar el problema o comprometer otras muestras.
2. Identificar y separar el material afectado, evitando que se mezcle con muestras conformes.
3. Informar al responsable correspondiente, describiendo el hecho observado sin ocultar ni minimizar la desviación.
4. Registrar la incidencia, incluyendo el código de muestra, la etapa afectada, la fecha, las condiciones observadas y las acciones inmediatas.

5. Evaluar el alcance del problema y determinar, mediante el procedimiento autorizado, si corresponde repetir el muestreo, recuperar una fracción conservada, repetir la preparación o solicitar una revisión analítica.
6. Verificar la acción correctiva y documentar la decisión final.

No todos los errores pueden corregirse de la misma manera. Por ejemplo, una contaminación detectada después de la pulverización puede requerir recuperar una fracción conservada antes de esa etapa. En cambio, una muestra que fue seleccionada incorrectamente en el frente puede necesitar un nuevo muestreo, porque la preparación posterior no puede restituir el material que nunca se recogió.

El objetivo no es únicamente corregir el resultado puntual, sino identificar la causa y prevenir su repetición. Las incidencias recurrentes pueden indicar que el procedimiento necesita revisión, que el personal requiere capacitación adicional o que el equipo presenta problemas de operación o mantenimiento.

Responsabilidad del muestreador

El muestreador debe trabajar conforme al procedimiento aprobado, mantener la identificación de las muestras, proteger la integridad del material y comunicar oportunamente las desviaciones. No debe modificar por iniciativa propia los intervalos, las masas, los métodos de selección o los criterios de aceptación.

La confiabilidad del muestreo depende de la combinación de representatividad, prevención de contaminación, preparación controlada, trazabilidad y documentación. Ninguna medida aislada elimina todos los errores; por ello, los controles deben aplicarse a lo largo de toda la cadena de trabajo, desde la extracción del material hasta su entrega al laboratorio analítico.

4.5 Introducción a gráficos de control (Shewhart) para QC

Los gráficos de control de Shewhart son herramientas estadísticas utilizadas para supervisar la estabilidad de un proceso a lo largo del tiempo. En minería y preparación de muestras, permiten detectar cambios inusuales en los resultados de los controles de calidad, como duplicados, blancos y materiales de referencia certificados, antes de que afecten de forma significativa la confiabilidad de los datos.

Su utilidad principal consiste en distinguir entre la variación habitual del proceso y las señales que pueden indicar una causa específica de desviación. Un gráfico de control no demuestra por sí solo que un resultado sea correcto, pero ayuda a identificar cuándo es necesario investigar un problema.

Variabilidad del proceso: causas comunes y especiales

Todo proceso de medición o preparación presenta cierta variabilidad. Para interpretar correctamente un gráfico de control, es importante distinguir dos tipos de causas.

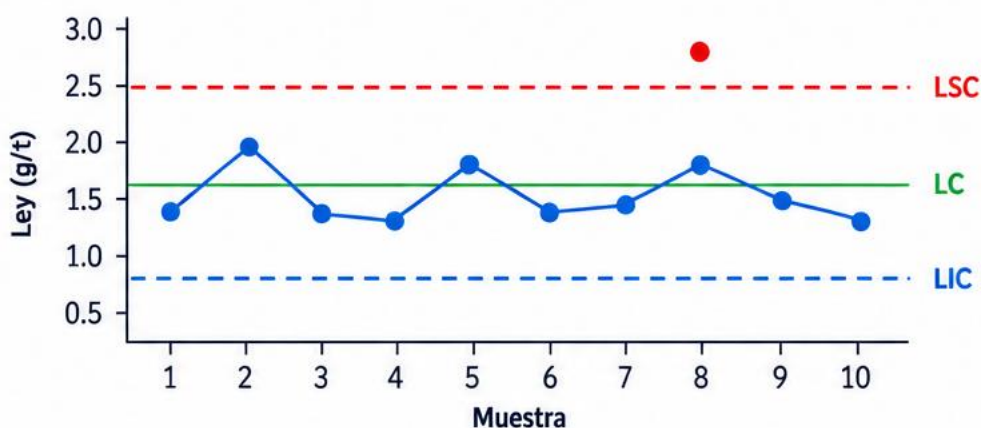
Causas comunes de variación: son las fluctuaciones propias de un proceso que funciona bajo condiciones relativamente estables. Pueden incluir pequeñas diferencias operativas, variaciones normales del instrumento o la incertidumbre inherente a la medición.

Causas especiales de variación: son cambios atribuibles a una condición concreta o inusual, como una balanza desajustada, contaminación en un pulverizador, deterioro de un equipo, un cambio de reactivo o un error de procedimiento.

El objetivo del control estadístico no es eliminar toda variación, sino reconocer las señales que sugieren que el proceso ha cambiado y requieren una evaluación.

En un laboratorio minero, por ejemplo, una serie de resultados de un material de referencia certificado puede fluctuar ligeramente alrededor de su valor esperado. Si los resultados comienzan a desplazarse sistemáticamente hacia valores superiores, podría existir un sesgo analítico, un cambio de calibración o alguna otra causa que debe investigarse.

Gráfico de control de Shewhart



Elementos de un gráfico de control

Un gráfico de Shewhart representa los resultados en orden cronológico o según una secuencia definida de procesamiento. Sus elementos principales son:

- Eje horizontal: representa el orden de las mediciones, las muestras de control o las corridas analíticas.
- Eje vertical: representa el valor medido, como una ley de oro, la recuperación de un control, la masa registrada o una diferencia relativa.
- Línea central (LC): representa el valor de referencia o la media del proceso, según el tipo de gráfico y el diseño adoptado.
- Límite superior de control (LSC): indica el límite estadístico superior calculado a partir del comportamiento del proceso o de un modelo definido.
- Límite inferior de control (LIC): indica el límite estadístico inferior calculado con el mismo criterio.

Los límites de control no deben confundirse con los límites de especificación o aceptación. Los límites de control describen el comportamiento estadístico del proceso; los límites de aceptación establecen si un resultado cumple los requisitos técnicos del proyecto, del método o del programa de QA/QC.

Un resultado puede encontrarse dentro de los límites estadísticos y, aun así, incumplir un criterio contractual o analítico. Del mismo modo, un punto fuera de los límites de control constituye una señal que debe investigarse, pero no identifica automáticamente su causa.

Límites de control y regla de tres sigmas

En un gráfico Shewhart clásico para mediciones individuales o medias, cuando se cumplen los supuestos estadísticos correspondientes, los límites suelen establecerse a tres desviaciones estándar de la línea central.

$$LSC = \mu + 3\sigma$$

$$LC = \mu$$

$$LIC = \mu - 3\sigma$$

Donde:

- μ representa la media de referencia del proceso.
- σ representa la desviación estándar del proceso.

Cuando la distribución es aproximadamente normal y el proceso permanece estable, cerca del 99,73 % de las observaciones individuales debería quedar dentro de estos límites. Por ello, un punto fuera de los límites constituye una señal estadísticamente inusual.

Este porcentaje es una referencia teórica, no una garantía universal. La interpretación depende de los supuestos estadísticos, del tamaño de la muestra y de la forma en que se hayan calculado los límites.

En la práctica, los límites deben establecerse con datos adecuados de un proceso estable o mediante un modelo técnico justificado. No deben elegirse arbitrariamente para que todos los resultados queden dentro del gráfico.

Si el límite inferior calculado para una variable no puede tener valores negativos, como sucede con determinadas magnitudes físicas, no debe interpretarse un límite negativo como un resultado físicamente posible. La elección del gráfico y el tratamiento de los límites deben adaptarse a la variable y al método utilizado.

Tipos de gráficos de control

La selección del gráfico depende de qué se mide y de cómo se obtienen los datos.

Tipo de gráfico	Aplicación general	Ejemplo en minería
$\bar{X}$ (media)	Supervisa las medias de subgrupos de mediciones	Media de varias mediciones realizadas bajo condiciones comparables
R (rango)	Supervisa la dispersión dentro de subgrupos	Diferencia entre el mayor y el menor resultado de un grupo de mediciones
I-MR (individuales y rango móvil)	Supervisa mediciones individuales y cambios entre observaciones consecutivas	Resultados sucesivos de un material de referencia certificado
p	Supervisa la proporción de unidades no conformes	Proporción de muestras que incumplen un criterio definido, cuando se cumplen los supuestos del gráfico

Para el control rutinario de un material de referencia certificado, el gráfico de individuales (I) puede ser útil cuando se registra un resultado por corrida. El gráfico de rango móvil (MR) complementa la evaluación mostrando la variación entre resultados consecutivos.

Los gráficos de medias y rangos se utilizan cuando existen subgrupos racionales de mediciones. No es apropiado agrupar resultados de materiales, métodos o condiciones diferentes únicamente para obtener un gráfico.

Aplicación de gráficos de control en el laboratorio minero

En las actividades de muestreo y preparación de minerales, los gráficos de control pueden utilizarse para supervisar diferentes variables, siempre que los datos sean comparables y exista un criterio técnico definido.

Materiales de referencia certificados. Se comparan los resultados analíticos con el comportamiento esperado del material. Un desplazamiento sostenido puede indicar sesgo, un cambio del método o problemas de calibración.

Blancos de preparación o análisis. Se representan los resultados obtenidos para verificar si existe contaminación u otra señal anómala. Como los valores esperados pueden estar próximos a cero o al límite de detección, suele ser necesario complementar el gráfico con límites de aceptación específicos para blancos.

Duplicados. Se pueden analizar las diferencias entre pares de resultados o sus diferencias relativas. Es necesario definir previamente qué estadístico se representa y qué límites son apropiados; las diferencias relativas pueden resultar inestables cuando los valores son muy bajos.

Control de equipos. Cuando existen mediciones repetidas comparables, pueden supervisarse variables como la masa de una porción, el comportamiento de una balanza o determinados parámetros operativos. La aplicación debe ajustarse al procedimiento y a las características de la variable.

Los gráficos de control no sustituyen los criterios de aceptación específicos de cada tipo de control QA/QC. Se utilizan junto con ellos para detectar tendencias, desplazamientos y variaciones anómalas.

Interpretación de patrones y señales de alerta

Un gráfico debe interpretarse considerando tanto los puntos individuales como su secuencia. Las siguientes situaciones pueden indicar que es necesario investigar el proceso:

- Punto fuera de los límites de control: una observación supera el límite superior o queda por debajo del inferior.
- Desplazamiento de la línea central: varios resultados consecutivos se sitúan a un mismo lado de la línea central.
- Tendencia sostenida: los resultados aumentan o disminuyen progresivamente.
- Variabilidad inusual: la dispersión cambia de manera importante respecto del comportamiento histórico.
- Patrones repetitivos: aparecen ciclos o agrupamientos que pueden relacionarse con turnos, equipos, lotes o cambios de procedimiento.

Las reglas complementarias para detectar desplazamientos y tendencias deben definirse en el procedimiento de control, ya que utilizar demasiadas reglas sin una justificación puede aumentar las falsas alarmas.

Un punto aislado fuera de los límites no indica automáticamente que todo el lote sea inválido. Sin embargo, tampoco debe ignorarse: se debe revisar el contexto, verificar los datos y aplicar los criterios de actuación establecidos.

Ejemplo práctico: control de un material de referencia certificado

Un laboratorio analiza un material de referencia certificado de oro en cada corrida analítica. Para ilustrar el procedimiento, se supone que el valor de referencia es 2,00 g/t, que la media histórica de un proceso estable coincide con ese valor y que la desviación estándar de referencia es 0,05 g/t.

Los límites ilustrativos a tres desviaciones estándar son:

$$LSC = 2,00 + 3(0,05) = 2,15 \text{ g/t}$$

$$LC = 2,00 \text{ g/t}$$

$$LIC = 2,00 - 3(0,05) = 1,85 \text{ g/t}$$

Los siguientes resultados son hipotéticos y se muestran únicamente para practicar la interpretación.

Corrida	Resultado (g/t)	Interpretación inicial
1	2,01	Dentro de los límites
2	1,98	Dentro de los límites
3	2,04	Dentro de los límites
4	2,02	Dentro de los límites
5	2,08	Dentro de los límites
6	2,17	Fuera del límite superior

El resultado de la corrida 6 supera el límite superior ilustrativo de 2,15 g/t. El laboratorio debe verificar la transcripción, revisar los registros del equipo, comprobar la preparación y analizar los controles asociados. También debe evaluar si los resultados de las muestras vinculadas a esa corrida requieren retención o revisión conforme al procedimiento de QA/QC.

El gráfico permite detectar la señal, pero no demuestra por sí mismo si la causa fue contaminación, calibración, preparación incorrecta, variación analítica u otro factor.

Los límites utilizados en este ejemplo no deben trasladarse directamente a otro laboratorio o material de referencia. En una aplicación real, deben justificarse con datos y criterios válidos para el proceso evaluado.

Procedimiento básico para utilizar un gráfico de control

1. Definir la variable: especificar qué se va a supervisar, por ejemplo, la concentración obtenida para un material de referencia.
2. Seleccionar datos comparables: reunir resultados del mismo material, método y condiciones pertinentes.
3. Establecer la línea central y los límites: utilizar datos adecuados de un proceso estable o un modelo técnicamente justificado.
4. Registrar los resultados en secuencia: conservar el orden cronológico o de procesamiento e identificar cada corrida.
5. Evaluar señales y patrones: comprobar puntos fuera de los límites, desplazamientos, tendencias y cambios en la dispersión.
6. Investigar las desviaciones: revisar equipos, reactivos, preparación, registros, contaminación y demás causas plausibles.
7. Documentar la decisión: registrar la investigación, las acciones tomadas y la autorización para reanudar o aceptar el proceso cuando corresponda.

Si se detecta una señal relevante, el responsable debe aplicar el procedimiento aprobado para determinar qué muestras pueden estar afectadas y si corresponde repetir un análisis, una preparación o el muestreo. No debe eliminarse un punto únicamente porque altera la apariencia del gráfico; cualquier exclusión requiere una causa documentada y una justificación técnica.

Registro y responsabilidades

El registro de control debe permitir reconstruir qué se midió, cuándo, con qué método y bajo qué condiciones. Como mínimo, conviene conservar:

- Identificación del control y del lote o corrida.
- Fecha y resultado obtenido, con sus unidades.
- Valor de referencia y límites aplicados.
- Identificación del equipo o método cuando corresponda.
- Señales detectadas y evaluación realizada.
- Desviaciones, acciones correctivas y responsables.
- Decisión final sobre la aceptación, retención o revisión de los resultados afectados.

El operador debe registrar los resultados con exactitud y comunicar las señales observadas. El responsable de QA/QC o la persona autorizada debe evaluar la desviación, definir el alcance de la investigación y documentar la decisión según el sistema de calidad del laboratorio.

La aplicación correcta de los gráficos de Shewhart contribuye a detectar cambios en el proceso de forma oportuna. Su eficacia depende de la calidad de los datos, de la selección adecuada de los límites y de una respuesta documentada ante las señales de alerta.

Módulo 5: Equipos, Normativa y Entorno Laboral

5.1 Operación y mantenimiento básico de chancadoras, divisores y pulverizadores

La preparación mecánica de muestras minerales requiere equipos que reduzcan progresivamente el tamaño de las partículas y permitan obtener porciones representativas para el análisis químico. Entre los equipos más utilizados se encuentran las chancadoras, los divisores de muestras y los pulverizadores. Su operación correcta influye en la granulometría, la conservación de la muestra, la prevención de la contaminación cruzada y la confiabilidad de los resultados analíticos.

El operador debe conocer la función de cada equipo, sus componentes principales, las condiciones básicas de funcionamiento, los controles previos al uso y las medidas de mantenimiento autorizadas. También debe reconocer las señales de funcionamiento anormal y saber cuándo detener el equipo y comunicar una incidencia.

La operación y el mantenimiento deben realizarse de acuerdo con el manual del fabricante, los procedimientos del laboratorio y las instrucciones de seguridad aplicables. No deben improvisarse ajustes, desmontajes ni reparaciones para los que el operador no esté autorizado.



Chancadoras: función y componentes principales

Las chancadoras reducen el tamaño de los fragmentos minerales mediante compresión, impacto u otros mecanismos de fragmentación. En la preparación de muestras se emplean principalmente para transformar el material recibido en una fracción más pequeña y uniforme que pueda dividirse y prepararse para etapas posteriores.

La selección del equipo depende de la dureza del mineral, el tamaño de alimentación, la capacidad requerida, la granulometría objetivo y el riesgo de contaminación procedente de los materiales de contacto.

Chancadora de mandíbulas

La chancadora de mandíbulas es habitual en la etapa de chancado primario. Su mecanismo utiliza una mandíbula fija y otra móvil que comprimen el material hasta fragmentarlo.

Sus componentes principales pueden incluir:

- Mandíbulas de trituración: superficies que entran en contacto con el material y provocan su fragmentación.
- Cámara de chancado: espacio en el que se reduce el tamaño de las partículas.
- Sistema de accionamiento: motor y mecanismo de transmisión que generan el movimiento de la mandíbula móvil.
- Ajuste de descarga: mecanismo que permite regular la abertura de salida dentro de los límites establecidos por el fabricante.
- Tolva de alimentación y descarga: zonas por las que ingresa el material y sale el producto triturado.
- Protecciones e interruptores de seguridad: dispositivos destinados a reducir la exposición a partes móviles y permitir la detención segura del equipo.

La abertura de descarga influye en la granulometría obtenida, pero el resultado también depende de las propiedades del mineral, el desgaste de las mandíbulas y las condiciones de operación. El ajuste debe efectuarse únicamente conforme al procedimiento autorizado y con el equipo en la condición segura especificada por el fabricante.

Inspección previa al funcionamiento

Antes de iniciar el chancado, el operador debe comprobar:

1. Que el equipo se encuentre limpio y libre de restos de muestras anteriores.
2. Que las mandíbulas, la cámara y las zonas accesibles no presenten desgaste excesivo, piezas sueltas o daños visibles.
3. Que las protecciones estén instaladas y los dispositivos de seguridad funcionen según el procedimiento de verificación.
4. Que la tolva y la descarga estén libres de obstrucciones.
5. Que el recipiente de recepción esté correctamente colocado y tenga capacidad suficiente.
6. Que la extracción de polvo o el sistema de control de partículas se encuentre operativo, cuando corresponda.

7. Que la identificación de la muestra y los registros de trabajo coincidan.

Si se detectan daños, protecciones ausentes, ruidos anormales o fallas de seguridad, el equipo no debe utilizarse hasta que la condición sea evaluada y corregida por personal autorizado.

Operación básica de la chancadora

El procedimiento debe ajustarse al equipo instalado y al protocolo de preparación de muestras. De forma general, comprende las siguientes actividades:

- Preparación de la muestra: verificar su identificación, cantidad y condiciones físicas. Si el procedimiento exige secado o una reducción previa del tamaño, completar esas operaciones antes de alimentar el equipo.
- Preparación del área: disponer el recipiente de descarga, confirmar que no existan materiales de otras muestras y verificar las condiciones de seguridad.
- Puesta en marcha: arrancar el equipo siguiendo la secuencia establecida por el fabricante.
- Alimentación: introducir el material de manera controlada, respetando la capacidad y el tamaño máximo de alimentación especificados.
- Supervisión: observar el flujo del material, los ruidos, las vibraciones y cualquier indicio de sobrecarga o funcionamiento irregular.
- Descarga y recuperación: recoger el producto sin derrames y comprobar que se ha recuperado el material conforme al procedimiento.
- Registro: documentar la operación, las incidencias y cualquier observación relevante para la preparación posterior.

Nunca se deben introducir las manos ni herramientas en la cámara de chancado mientras el equipo pueda ponerse en movimiento. Una obstrucción no debe eliminarse con el equipo en funcionamiento. Antes de intervenir en el interior, se debe aplicar el procedimiento de aislamiento de energías, bloqueo y verificación de ausencia de energía peligrosa.

Divisores de muestras: función y tipos

Los divisores de muestras reducen la masa del material mediante una distribución controlada de las partículas entre dos o más fracciones. Su objetivo es obtener una porción adecuada para la siguiente etapa sin depender de una selección visual de fragmentos.

La división es crítica porque una muestra puede estar correctamente chancada y, aun así, perder representatividad si la reducción de masa se realiza de forma inadecuada.

Divisor de rifles o canales alternos

El divisor de rifles utiliza una serie de canales alternos que conducen el material hacia recipientes diferentes. Cuando se emplea correctamente, distribuye las partículas entre las fracciones obtenidas.

Los canales deben ser apropiados para el tamaño máximo de partícula y mantenerse limpios, sin deformaciones ni obstrucciones. Si son demasiado estrechos, parte del material puede atascarse o segregarse durante la operación.

Operación básica:

1. Verificar la limpieza, integridad y estabilidad del divisor.
2. Comprobar que los recipientes estén correctamente colocados.
3. Confirmar que la granulometría del material sea compatible con la abertura de los canales.
4. Alimentar el material de manera uniforme, conforme al diseño del equipo y al procedimiento establecido.
5. Recuperar ambas fracciones sin pérdidas.
6. Identificar la fracción seleccionada y la fracción conservada, según el plan de preparación.
7. Limpiar el divisor antes de procesar la muestra siguiente.

Una alimentación concentrada en un solo lado, demasiado rápida o irregular puede perjudicar la distribución del material. La igualdad de masa entre fracciones tampoco garantiza por sí sola que ambas tengan la misma composición.

Divisor rotatorio

El divisor rotatorio distribuye el material mediante un mecanismo de alimentación y recipientes que reciben porciones sucesivas durante la rotación. La distribución depende de la configuración del equipo, de la uniformidad de alimentación y de las condiciones de operación.

Antes de utilizarlo, el operador debe comprobar que los recipientes estén bien colocados, que el sistema de alimentación no presente obstrucciones y que los componentes móviles se encuentren protegidos.

Durante el funcionamiento, se debe mantener la alimentación conforme a las instrucciones del fabricante y evitar intervenciones en los elementos rotatorios. Después de la división, se recuperan e identifican las fracciones previstas por el procedimiento.

El divisor rotatorio puede ofrecer una distribución controlada del material, pero no corrige automáticamente una muestra de origen no representativa ni compensa una alimentación deficiente.

Control y mantenimiento de los divisores

Las principales tareas de mantenimiento básico incluyen:

- Retirar residuos de los canales, tolvas y recipientes.
- Comprobar que no existan deformaciones, desgaste o corrosión que afecten la distribución.
- Verificar la estabilidad del equipo y la correcta colocación de los recipientes.
- Revisar las protecciones y los elementos móviles, cuando existan.

- Comunicar atascos recurrentes, distribución irregular o daños visibles.
- Registrar las tareas de limpieza, inspección y mantenimiento efectuadas.

Los componentes dañados no deben repararse mediante modificaciones improvisadas. Cuando la condición del equipo pueda afectar la representatividad, debe retirarse de servicio hasta su evaluación.

Pulverizadores: función y tipos

Los pulverizadores reducen el material chancado a una granulometría fina, adecuada para la preparación de la porción que se utilizará en el análisis químico. El grado de pulverización requerido depende del método analítico, del tipo de mineral y de las especificaciones del laboratorio.

Los equipos pueden utilizar diferentes mecanismos de molienda. Entre los más comunes se encuentran los pulverizadores de anillos y los molinos de discos o de bolas. Cada diseño presenta características particulares de capacidad, tamaño final, materiales de contacto y riesgo de contaminación.

Pulverizador de anillos

El pulverizador de anillos utiliza elementos de molienda que actúan dentro de un recipiente o cámara. El movimiento del conjunto produce la reducción del tamaño de las partículas.

Los componentes pueden incluir la cámara de molienda, los anillos, el recipiente, el sistema de accionamiento, el mecanismo de cierre y las protecciones. La configuración exacta depende del fabricante.

El estado de las superficies de contacto es importante porque el desgaste puede introducir partículas ajenas a la muestra. La selección de los materiales de molienda debe considerar la mineralogía y los elementos que se determinarán analíticamente.

Operación básica del pulverizador

La secuencia general comprende:

Preparación. Confirmar el código de muestra, verificar que la fracción destinada a pulverización sea la correcta y comprobar la limpieza del recipiente y de los elementos de molienda.

Carga. Introducir la masa indicada por el procedimiento, sin superar la capacidad del equipo. Una carga excesiva puede impedir una molienda adecuada, aumentar el calentamiento o generar condiciones de operación no previstas.

Cierre y puesta en marcha. Comprobar que el recipiente esté cerrado y asegurado, que las protecciones se encuentren en posición y que el equipo pueda funcionar de acuerdo con la secuencia establecida.

Pulverización. Mantener el ciclo, la duración y los parámetros indicados por el procedimiento. No abrir el equipo ni intervenir en sus partes móviles durante el funcionamiento.

Descarga. Esperar hasta que el equipo se encuentre completamente detenido y aplicar las instrucciones de apertura. Recuperar el material con herramientas limpias y evitando pérdidas de polvo.

Verificación. Comprobar, cuando corresponda, que la granulometría cumpla el requisito definido para el método analítico. Si el material no cumple, se debe aplicar el procedimiento autorizado, sin prolongar arbitrariamente el ciclo.

Limpieza y registro. Retirar los residuos de forma segura, limpiar los componentes establecidos y registrar la operación y las incidencias.

No debe suponerse que un tiempo de pulverización fijo sirve para todos los minerales. La dureza, la granulometría inicial, la masa de alimentación, el desgaste de los componentes y el diseño del equipo pueden modificar el resultado.

Mantenimiento preventivo básico

El mantenimiento preventivo busca conservar las condiciones de operación, reducir las fallas y evitar que el equipo introduzca errores en la preparación de muestras. Las actividades permitidas al operador deben distinguirse de las reparaciones que requieren personal técnico autorizado.

Equipo	Inspecciones y tareas básicas	Señales que requieren atención
Chancadora	Limpieza, revisión visual de mandíbulas, tolva, descarga, protecciones y recipientes	Ruidos o vibraciones anormales, obstrucciones recurrentes, desgaste excesivo
Divisor de rifles	Limpieza de canales, revisión de aberturas, estabilidad y recipientes	Distribución irregular, canales obstruidos o deformados
Divisor rotatorio	Limpieza, inspección de recipientes, alimentación y protecciones	Rotación irregular, vibraciones, fallas de alimentación
Pulverizador	Limpieza de cámara y elementos de molienda, revisión de cierres y superficies de contacto	Calentamiento anormal, ruidos, desgaste excesivo o granulometría fuera de especificación

El mantenimiento debe planificarse según el manual del fabricante, la frecuencia de uso, las características del material procesado y el historial de fallas. No es correcto establecer un intervalo universal de lubricación, sustitución de piezas o revisión para todos los equipos.

Limpieza entre muestras

La limpieza constituye una actividad operativa esencial y una medida de prevención de contaminación cruzada. Su alcance debe corresponder al equipo y al procedimiento del laboratorio.

Después de procesar una muestra, el operador debe retirar el material residual de las superficies y zonas de contacto establecidas. La limpieza debe ser suficiente para evitar el arrastre de partículas a la muestra siguiente, sin introducir materiales extraños ni dispersar polvo de manera peligrosa.

Cuando el protocolo lo requiera, pueden utilizarse materiales de limpieza, muestras de enjuague o blancos de preparación para comprobar la eficacia del procedimiento. La limpieza visual es necesaria, pero no siempre basta para demostrar que no queda contaminación.

Seguridad durante la operación y el mantenimiento

Las chancadoras y los pulverizadores presentan riesgos mecánicos, eléctricos, acústicos y asociados al polvo mineral. Los divisores rotatorios pueden incorporar elementos móviles, mientras que las actividades de limpieza y manipulación exponen al operador a partículas y bordes potencialmente peligrosos.

Las medidas preventivas deben incluir:

- Utilizar los equipos de protección personal definidos a partir de la evaluación de riesgos, que pueden incluir protección ocular, auditiva, respiratoria, calzado de seguridad y ropa de trabajo.
- Mantener instaladas las guardas y protecciones; no anular interruptores ni dispositivos de seguridad.
- Controlar el polvo mediante extracción localizada u otras medidas técnicas adecuadas.
- Mantener despejadas las zonas de trabajo y controlar los derrames.
- No introducir las manos en tolvas, cámaras o canales de equipos en funcionamiento.
- No abrir recipientes de pulverización antes de la detención completa del equipo.
- Aplicar el bloqueo y etiquetado de energías (LOTO) o el procedimiento de aislamiento establecido antes de realizar intervenciones que puedan exponer a movimientos, arranques inesperados o energías almacenadas.
- Permitir que las reparaciones eléctricas, mecánicas y los ajustes especializados sean realizados por personal competente y autorizado.

El equipo debe detenerse ante una condición insegura o un funcionamiento anormal. La producción no justifica continuar trabajando con protecciones defectuosas, vibraciones inusuales o una obstrucción que requiera intervención peligrosa.

Registro de operación y mantenimiento

La documentación permite reconstruir cómo se preparó cada muestra y detectar problemas repetitivos. El registro debe vincular el trabajo realizado con la identificación de la muestra y el equipo utilizado.

Según el procedimiento del laboratorio, puede incluir:

- Código de muestra y lote de preparación.
- Equipo utilizado y, cuando corresponda, su código interno.

- Fecha, operador y etapa de preparación.
- Parámetros operativos exigidos por el procedimiento.
- Resultado de la verificación de granulometría, cuando aplique.
- Limpieza efectuada y controles de contaminación previstos.
- Fallas, interrupciones, desgaste observado y acciones adoptadas.
- Fecha, responsable y descripción de las tareas de mantenimiento.

Si un equipo presenta una falla que puede haber afectado varias muestras, se debe registrar el periodo o lote potencialmente comprometido y comunicarlo al responsable de laboratorio o de QA/QC. La evaluación debe determinar si corresponde revisar la preparación, repetir alguna etapa o retener los resultados hasta aclarar la incidencia.

La operación competente de chancadoras, divisores y pulverizadores exige combinar conocimiento del equipo, cumplimiento del procedimiento, limpieza, mantenimiento preventivo, seguridad y trazabilidad. El operador no solo debe conseguir la reducción de tamaño requerida: también debe conservar la identidad de la muestra y evitar que las operaciones mecánicas alteren su composición o comprometan la confiabilidad del análisis.

5.2 Normativa peruana aplicable: D.S. N.º 024-2016-EM y otras disposiciones relacionadas

El trabajo de muestreo y preparación de muestras minerales en el Perú debe desarrollarse conforme a las disposiciones de seguridad y salud ocupacional, las reglas específicas de la actividad minera y los procedimientos internos de cada operación o laboratorio. El personal debe conocer las obligaciones que afectan directamente a sus tareas, reconocer las condiciones de riesgo y aplicar las medidas preventivas establecidas por la organización.

La normativa no debe entenderse únicamente como una lista de documentos. Su aplicación se refleja en la evaluación de riesgos, el uso de equipos de protección personal, la capacitación, el mantenimiento de equipos, el control de agentes físicos y químicos, la gestión de incidentes y la conservación de registros.

Decreto Supremo N.º 024-2016-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería

El D.S. N.º 024-2016-EM aprobó el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Constituye una referencia central para la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales en las actividades comprendidas en su ámbito de aplicación.

El reglamento fue modificado, entre otras disposiciones, por el D.S. N.º 023-2017-EM y el D.S. N.º 034-2023-EM. Por ello, para aplicar un requisito concreto debe consultarse el texto vigente y sus modificaciones, en lugar de utilizar exclusivamente la versión original de 2016.

Para el muestreador y preparador de muestras, los aspectos más relevantes incluyen:

- Gestión de riesgos: identificación de peligros, evaluación de riesgos y aplicación de controles antes de iniciar una actividad.

- Capacitación y autorización: formación apropiada para las tareas asignadas y cumplimiento de los requisitos internos de competencia y autorización.
- Equipos y herramientas: utilización segura, inspección y mantenimiento de los equipos de trabajo.
- Equipos de protección personal (EPP): selección, utilización y conservación de los elementos de protección requeridos según los riesgos.
- Orden y limpieza: mantenimiento de condiciones seguras en las áreas de muestreo, circulación y preparación.
- Control de agentes ocupacionales: prevención de la exposición peligrosa a polvo, ruido y otros agentes presentes en el entorno de trabajo.
- Emergencias e incidentes: conocimiento de las vías de comunicación, los procedimientos de respuesta y las obligaciones de reporte aplicables.

La aplicación concreta de cada requisito depende de la actividad, el lugar de trabajo y las condiciones de operación. No todas las tareas de muestreo tienen los mismos riesgos: trabajar en un frente de explotación, tomar una muestra de una faja transportadora y preparar una muestra en un laboratorio requieren controles específicos.

Ley N.º 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

La Ley N.º 29783 establece el marco general de prevención de riesgos laborales en el Perú. Se aplica a distintos sectores económicos y complementa las disposiciones específicas que regulan la actividad minera.

Para el personal de muestreo y preparación de muestras, sus principios se traducen en obligaciones y prácticas relacionadas con la prevención, la información sobre los riesgos y la participación en las medidas de seguridad del centro de trabajo.

Entre los aspectos relevantes se encuentran:

- Prevención: identificar los peligros antes de realizar una actividad y adoptar medidas para eliminar o reducir los riesgos.
- Información y capacitación: conocer los riesgos del puesto, las medidas preventivas y los procedimientos de trabajo seguro.
- Participación: comunicar condiciones inseguras, incidentes y oportunidades de mejora.
- Protección de la salud: aplicar medidas de control de los agentes ocupacionales y cumplir los programas de vigilancia de la salud que correspondan.
- Cumplimiento de procedimientos: respetar las instrucciones de seguridad, utilizar correctamente los equipos y no anular las protecciones.
- Comunicación de incidentes: informar oportunamente sobre accidentes, exposiciones peligrosas y situaciones que puedan ocasionar daños.

La prevención es una responsabilidad compartida, aunque las obligaciones específicas varían según el papel de cada participante. El empleador debe cumplir sus deberes legales de prevención, mientras que el trabajador debe seguir las instrucciones aplicables, utilizar correctamente los equipos y colaborar en el mantenimiento de condiciones seguras.

D.S. N.º 005-2012-TR: Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

El D.S. N.º 005-2012-TR desarrolla las disposiciones de la Ley N.º 29783 y establece aspectos relacionados con la organización y funcionamiento del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST).

En el entorno de muestreo y preparación de muestras, este marco se relaciona con la identificación de peligros, la evaluación de riesgos, la planificación preventiva, la capacitación, la documentación y la evaluación de las medidas adoptadas.

El personal debe conocer los documentos y procedimientos que le correspondan, especialmente:

- La identificación de peligros y evaluación de riesgos del puesto.
- Los procedimientos de trabajo seguro y las instrucciones operativas.
- Los registros de capacitación y las inspecciones aplicables.
- Los mecanismos de comunicación de incidentes y condiciones inseguras.
- Las medidas de emergencia y evacuación del establecimiento.
- Los controles establecidos para las actividades rutinarias y no rutinarias.

Los documentos deben mantenerse de acuerdo con los requisitos legales aplicables y el sistema de gestión de la organización. No basta con disponer de formatos: las medidas preventivas deben aplicarse en el trabajo real.

Evaluación de riesgos: IPERC y análisis de trabajo seguro

En las operaciones mineras, la evaluación de riesgos permite identificar qué puede causar daño, valorar la exposición y establecer controles antes de ejecutar una tarea.

El IPERC —Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Medidas de Control— ayuda a organizar esta evaluación. El análisis de trabajo seguro (ATS) puede utilizarse, conforme al procedimiento de la operación, para revisar los peligros y controles de una tarea específica.

Por ejemplo, la preparación de una muestra en una chancadora puede presentar los siguientes peligros:

Peligro identificado	Riesgo asociado	Medidas preventivas posibles
Partes móviles	Atrapamiento o lesiones graves	Guardas, dispositivos de seguridad y prohibición de intervenir durante el funcionamiento
Polvo mineral	Exposición por inhalación	Extracción localizada, control del polvo y protección respiratoria según la evaluación
Ruido	Daño auditivo	Control técnico de la fuente y protección auditiva cuando corresponda

Manipulación de recipientes	Sobreesfuerzo o lesión musculoesquelética	Técnicas de manipulación adecuadas y ayudas mecánicas cuando sean necesarias
Derrames de material	Resbalones, tropiezos o dispersión de polvo	Limpieza segura y mantenimiento del orden
Energía eléctrica	Descarga eléctrica o electrocución	Inspección, protecciones eléctricas e intervención por personal autorizado

La evaluación debe considerar las condiciones reales de trabajo. Un control adecuado para una actividad puede ser insuficiente para otra. Por ejemplo, el equipo de protección personal no sustituye las guardas de una máquina ni un sistema eficaz de extracción de polvo.

Antes de iniciar una tarea, el trabajador debe comprobar que los controles previstos estén disponibles y funcionando. Si cambian las condiciones o aparece un peligro no contemplado, debe comunicarlo y seguir el procedimiento establecido para revisar los controles.

Equipos de protección personal y agentes ocupacionales

El EPP se selecciona a partir de la evaluación de riesgos y de los requisitos aplicables al puesto. No existe un conjunto idéntico de equipos para todas las actividades de muestreo.

En una zona de preparación mecánica pueden ser necesarios protección ocular, auditiva, respiratoria, calzado de seguridad y ropa de trabajo. En campo, los requisitos pueden incluir elementos adicionales según el terreno, la operación y las condiciones ambientales.

La protección respiratoria requiere especial atención cuando existe exposición a polvo mineral. En materiales que contienen sílice cristalina respirable, la exposición puede producir enfermedades pulmonares graves. Por ello, se deben priorizar los controles técnicos y organizativos, complementados con el EPP apropiado y los programas de vigilancia ocupacional correspondientes.

El personal también debe conocer los riesgos asociados a productos químicos utilizados en determinados procedimientos, como reactivos, disolventes o sustancias de limpieza. Su manipulación requiere consultar la ficha de datos de seguridad y cumplir las instrucciones específicas.

Normas y disposiciones complementarias

Además del reglamento minero y del marco general de seguridad y salud en el trabajo, existen otras disposiciones que pueden resultar aplicables según el establecimiento, el tipo de actividad y los riesgos presentes.

Norma o instrumento	Ámbito principal	Aplicación práctica
Ley N.º 29783	Seguridad y salud en el trabajo	Marco general de prevención de riesgos laborales
D.S. N.º 005-2012-TR	Reglamento de la Ley N.º 29783	Gestión preventiva, capacitación y documentación del SGSST

D.S. N.º 024-2016-EM y sus modificatorias	Seguridad y salud ocupacional en minería	Requisitos sectoriales aplicables a las actividades comprendidas en su ámbito
R.M. N.º 050-2013-TR	Registros y documentación del SGSST	Referencia para formatos y modelos de registros, según corresponda
D.S. N.º 003-98-SA	Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo (SCTR)	Cobertura para actividades y trabajadores comprendidos en su ámbito de aplicación

Estas normas no sustituyen los procedimientos específicos de cada operación. Su aplicación debe verificarse en función de la actividad, la situación laboral, el establecimiento y las disposiciones vigentes.

También pueden existir requisitos adicionales sobre gestión ambiental, manejo de residuos, almacenamiento de sustancias químicas, emisiones de polvo y protección contra incendios. Estos requisitos deben identificarse de acuerdo con las características del laboratorio y de la operación minera.

Procedimientos internos y obligaciones del trabajador

La legislación establece el marco obligatorio, mientras que los procedimientos internos desarrollan cómo se ejecutan las tareas de manera segura en un lugar concreto. Estos documentos pueden incluir instrucciones para operar equipos, limpiar superficies, aislar energías, manipular muestras, controlar derrames y responder ante emergencias.

El trabajador debe:

- Conocer los procedimientos que corresponden a su puesto.
- Participar en las capacitaciones requeridas.
- Utilizar correctamente los equipos y las protecciones.
- Inspeccionar el área y el equipo antes de iniciar las tareas.
- Informar sobre fallas, condiciones inseguras y exposiciones no controladas.
- Cumplir los procedimientos de emergencia y las instrucciones de los responsables autorizados.
- Registrar las actividades y las incidencias cuando corresponda.

La autorización para realizar una tarea no debe presumirse por el simple hecho de que el trabajador conozca el equipo. Deben cumplirse los requisitos de capacitación, competencia y autorización que sean aplicables.

Aplicación práctica en el área de preparación de muestras

Antes de iniciar una jornada de trabajo, el preparador puede aplicar una verificación básica:

1. Área de trabajo: comprobar que las rutas de circulación estén despejadas, que exista orden y que las condiciones ambientales sean adecuadas.
2. Equipos: inspeccionar las protecciones, los recipientes, los dispositivos de seguridad y el estado visible de las máquinas.

3. Control de riesgos: revisar los peligros de la tarea y confirmar que las medidas preventivas previstas estén implementadas.
4. EPP: verificar que los elementos requeridos estén disponibles, sean apropiados y se encuentren en condiciones de uso.
5. Documentación: consultar el procedimiento vigente y comprobar la identificación de las muestras.
6. Comunicación: informar sobre cualquier desviación que impida trabajar de forma segura.
7. Cierre de actividad: dejar el área en condiciones seguras, registrar las incidencias y comunicar las fallas que requieran mantenimiento.

Esta lista es una herramienta operativa básica, no un sustituto de las inspecciones, los permisos o los registros específicos que exija la normativa o el sistema de gestión del establecimiento.

Actualización y aplicación de la normativa

La legislación puede modificarse, por lo que los documentos de seguridad deben revisarse cuando se publiquen nuevas disposiciones o cambien las condiciones de trabajo. En particular, el D.S. N.º 024-2016-EM debe consultarse junto con sus modificatorias, incluidas las disposiciones posteriores que resulten aplicables.

La organización debe utilizar fuentes oficiales y procedimientos actualizados para determinar qué requisitos corresponden a cada actividad. El trabajador, por su parte, debe seguir las instrucciones vigentes y consultar al responsable de seguridad cuando exista una duda sobre la aplicación de un requisito.

El conocimiento normativo permite al muestreador y preparador de muestras reconocer sus responsabilidades, trabajar conforme a los controles establecidos y contribuir a prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales. Su aplicación efectiva depende de que las disposiciones legales se traduzcan en procedimientos claros, capacitación adecuada, equipos seguros y una cultura de prevención en el lugar de trabajo.

5.3 Manejo de fichas técnicas y hojas de seguridad (SDS)

En las actividades de muestreo y preparación de muestras minerales, el personal puede utilizar equipos mecánicos, materiales de limpieza, reactivos químicos y otras sustancias que presentan riesgos para la salud, la seguridad o el ambiente. Para trabajar correctamente, es necesario conocer las características de los productos, las condiciones de operación de los equipos y las medidas preventivas indicadas por el fabricante.

La ficha técnica y la hoja de datos de seguridad (SDS, Safety Data Sheet) son documentos complementarios, pero cumplen funciones diferentes. La primera describe principalmente las características, prestaciones y condiciones de utilización de un producto o equipo. La segunda comunica los peligros de una sustancia o mezcla química y proporciona información para su manipulación, almacenamiento, respuesta ante emergencias y eliminación.

El operador debe saber identificar estos documentos, localizar la información relevante y aplicar las instrucciones correspondientes a su actividad.

Fichas técnicas: características y utilización

La ficha técnica reúne información sobre las propiedades y especificaciones de un producto, material o equipo. Su contenido depende del fabricante y del tipo de producto.

En un laboratorio de preparación de muestras, puede consultarse la ficha técnica de una chancadora, un pulverizador, un divisor de muestras, un material de limpieza o un producto utilizado en el proceso analítico.

Los datos que pueden aparecer incluyen:

- Identificación del producto o equipo: nombre comercial, modelo, referencia y fabricante.
- Características técnicas: dimensiones, capacidad, potencia, materiales de fabricación y otras especificaciones pertinentes.
- Condiciones de operación: límites de funcionamiento, requisitos de alimentación y parámetros recomendados.
- Instalación y mantenimiento: condiciones de montaje, inspecciones y tareas de mantenimiento indicadas por el fabricante.
- Compatibilidad: materiales o condiciones de uso admitidos, cuando corresponda.
- Limitaciones de utilización: restricciones, condiciones no permitidas y advertencias técnicas.

Aplicación práctica en los equipos de preparación

Antes de operar una chancadora o un pulverizador, el trabajador debe conocer las condiciones de alimentación, la capacidad permitida, las instrucciones de limpieza y los requisitos de mantenimiento. No debe modificar los parámetros del equipo fuera de los límites autorizados.

En los divisores de muestras, la ficha técnica puede ayudar a determinar si las aberturas y la configuración del dispositivo son apropiadas para la granulometría del material.

Cuando se utiliza un producto de limpieza, la ficha técnica puede informar sobre sus propiedades y compatibilidad con las superficies del equipo. Sin embargo, para conocer los peligros químicos y las medidas de protección, debe consultarse también la SDS cuando corresponda.

La ficha técnica no sustituye al manual de operación ni a la hoja de datos de seguridad. Cada documento debe utilizarse para la finalidad para la que fue elaborado.

Hoja de datos de seguridad (SDS)

La SDS proporciona información estandarizada sobre los peligros de una sustancia química o mezcla y las medidas necesarias para reducir los riesgos durante su ciclo de utilización.

En español también se emplean las denominaciones hoja de datos de seguridad y ficha de datos de seguridad. El término MSDS corresponde a una denominación anterior que todavía puede aparecer en documentos antiguos.

La SDS debe estar disponible para los productos químicos pertinentes y ser accesible al personal que los utiliza o que puede verse expuesto a ellos. Debe corresponder al producto concreto, incluida su concentración o formulación cuando sea relevante.

Las 16 secciones de una SDS

El formato armonizado internacionalmente contempla 16 secciones. El operador debe conocer su organización y saber dónde localizar la información necesaria.

Sección	Contenido	Utilidad para el trabajador
1. Identificación	Identificación del producto, proveedor y usos pertinentes	Confirmar que el documento corresponde al producto utilizado
2. Identificación de los peligros	Clasificación de peligros y elementos de etiquetado	Reconocer los riesgos principales
3. Composición e información sobre los componentes	Sustancias o componentes relevantes	Conocer los componentes declarados
4. Primeros auxilios	Medidas iniciales ante exposición	Saber cómo actuar y cuándo buscar asistencia médica
5. Medidas de lucha contra incendios	Medios de extinción y peligros relacionados	Aplicar las medidas de respuesta apropiadas
6. Medidas en caso de vertido accidental	Contención, limpieza y protección	Responder ante derrames conforme al procedimiento
7. Manipulación y almacenamiento	Precauciones de uso y condiciones de almacenamiento	Prevenir exposiciones, reacciones y deterioro
8. Controles de exposición y protección personal	Límites aplicables y medidas de protección	Seleccionar los controles y EPP pertinentes
9. Propiedades físicas y químicas	Estado, aspecto, pH y otras propiedades disponibles	Comprender las características relevantes del producto
10. Estabilidad y reactividad	Estabilidad, incompatibilidades y reacciones peligrosas	Evitar mezclas y condiciones incompatibles
11. Información toxicológica	Efectos sobre la salud y vías de exposición	Reconocer los posibles efectos tóxicos
12. Información ecotoxicológica	Efectos sobre el ambiente	Comprender los peligros ambientales
13. Consideraciones relativas a la eliminación	Orientaciones para la gestión de residuos	Aplicar el procedimiento autorizado de eliminación
14. Información relativa al transporte	Información pertinente para el transporte	Reconocer requisitos de transporte cuando sean aplicables

15. Información reglamentaria	Información normativa relevante declarada	Identificar referencias regulatorias
16. Otra información	Fecha de preparación o revisión y otros datos	Comprobar la vigencia documental y las aclaraciones

La información debe interpretarse en conjunto. Por ejemplo, la sección 2 permite reconocer los peligros, mientras que la sección 8 indica los controles de exposición y la sección 4 describe las medidas iniciales de primeros auxilios.

La presencia de una sección no significa que todos sus campos deban contener datos específicos. Cuando una información no está disponible, la SDS puede indicarlo expresamente.

Etiquetado y pictogramas de peligro

Los envases de productos químicos pueden incluir pictogramas, palabras de advertencia e indicaciones de peligro. Estos elementos permiten reconocer riesgos importantes antes de manipular el producto.

Entre los pictogramas utilizados en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA/GHS) se encuentran:

- Llama: sustancias inflamables o productos con determinados peligros relacionados con el fuego.
- Corrosión: productos que pueden causar quemaduras graves en la piel, lesiones oculares o corrosión de metales.
- Calavera y tibias cruzadas: toxicidad aguda grave para determinadas vías de exposición.
- Signo de exclamación: determinados efectos irritantes, nocivos u otros peligros clasificados.
- Peligro para la salud: determinados peligros graves, como carcinogenicidad, sensibilización respiratoria o toxicidad para órganos específicos.
- Medio ambiente: peligro para organismos acuáticos, cuando corresponda según el sistema de clasificación utilizado.
- Llama sobre círculo: sustancias comburentes.
- Cilindro de gas: gases a presión.
- Bomba explotando: determinadas sustancias o mezclas explosivas o con otros peligros asociados.

El significado exacto depende de la clasificación del producto. Un pictograma no reemplaza la lectura de la etiqueta ni de la SDS.

El trabajador nunca debe utilizar un producto químico que carezca de identificación suficiente o cuyo contenido no pueda confirmarse. Tampoco debe trasvasar sustancias a recipientes sin etiquetarlos de acuerdo con el procedimiento establecido.

Aplicación en el laboratorio de preparación de muestras

En las operaciones habituales de preparación mecánica, el personal puede entrar en contacto con productos empleados para limpiar equipos, controlar determinados procesos o realizar tareas analíticas complementarias. La naturaleza de estos productos varía según el laboratorio.

Antes de utilizar una sustancia, el operador debe:

1. Verificar la identidad: comprobar el nombre, la concentración y la etiqueta del envase.
2. Consultar la SDS: revisar los peligros, las medidas preventivas, los primeros auxilios y la respuesta ante derrames.
3. Confirmar los controles: comprobar que la ventilación, la contención y los EPP requeridos estén disponibles.
4. Revisar la compatibilidad: evitar el contacto o la mezcla con sustancias incompatibles.
5. Aplicar el procedimiento autorizado: utilizar el producto en las condiciones indicadas y respetar las restricciones establecidas.
6. Mantener la identificación: conservar el etiquetado durante el uso, almacenamiento y trasvase.
7. Cerrar y almacenar: dejar el recipiente cerrado y devolverlo al lugar designado, según las instrucciones aplicables.

Si la SDS exige controles especiales que no están disponibles en el lugar de trabajo, la actividad debe detenerse hasta que el responsable determine cómo realizarla de forma segura.

Almacenamiento y segregación de productos químicos

Los productos deben almacenarse según sus características, incompatibilidades y condiciones indicadas en la SDS. No es suficiente organizarlos únicamente por orden alfabético o por frecuencia de uso.

Las medidas básicas incluyen:

- Mantener los productos en sus recipientes identificados y en buen estado.
- Separar las sustancias incompatibles conforme a la información de seguridad.
- Evitar la exposición a temperaturas, humedad u otras condiciones no permitidas.
- Utilizar contención secundaria cuando lo requieran las características del producto o el procedimiento.
- Mantener las zonas de almacenamiento ventiladas y señalizadas cuando corresponda.
- Restringir el acceso a personal autorizado.
- Mantener disponibles los elementos de respuesta ante derrames que exija la evaluación de riesgos.

Los productos no deben almacenarse en envases de alimentos o bebidas. Tampoco deben mezclarse residuos químicos sin una evaluación de compatibilidad y una autorización conforme al procedimiento de gestión de residuos.

Actuación ante exposición o derrame

La respuesta depende de la sustancia, la cantidad, las condiciones del incidente y las instrucciones de la SDS. Una intervención incorrecta puede agravar la exposición o generar una reacción peligrosa.

Ante una exposición o un derrame, el trabajador debe:

- Interrumpir la actividad si puede hacerlo sin exponerse a un peligro adicional.
- Alertar a las personas presentes y comunicar el incidente al responsable correspondiente.
- Consultar las medidas de emergencia indicadas en la SDS.
- Evitar el contacto directo con el producto y no intentar una limpieza para la que no está capacitado o equipado.
- Utilizar los equipos de emergencia y protección únicamente conforme a su formación y al procedimiento aplicable.
- Solicitar atención médica cuando corresponda, proporcionando la identificación del producto y la información de seguridad disponible.
- Registrar el incidente y las medidas adoptadas de acuerdo con el sistema interno.

No debe inducirse el vómito ni aplicarse un tratamiento improvisado ante una ingestión o exposición química. Las medidas de primeros auxilios deben seguir las instrucciones específicas de la SDS y la orientación de personal sanitario o de emergencia.

Control documental y actualización

Las fichas técnicas y las SDS deben estar organizadas de modo que el personal pueda consultarlas antes y durante el trabajo. La documentación puede mantenerse en formato impreso, digital o ambos, siempre que resulte accesible y esté vinculada al producto correcto.

El control documental debe considerar:

- Identificación del producto, fabricante y proveedor.
- Fecha de emisión o revisión del documento.
- Correspondencia entre el producto real y el documento disponible.
- Ubicación de la SDS y forma de acceso para el personal.
- Registro de revisión cuando cambie el producto, su formulación o la información de seguridad.
- Comunicación de los cambios relevantes a los trabajadores afectados.

Una SDS antigua no debe descartarse automáticamente solo por su fecha; debe verificarse si sigue siendo válida y si existe una versión más reciente. Cuando haya dudas sobre la formulación, el proveedor o la información de seguridad, debe solicitarse la documentación actualizada.

Responsabilidades del operador

El trabajador debe identificar los productos y equipos que utiliza, consultar la documentación pertinente, cumplir las medidas preventivas y comunicar cualquier discrepancia entre las instrucciones y las condiciones reales del puesto.

El responsable del laboratorio o de seguridad debe asegurar, según sus funciones, que la documentación necesaria esté disponible, que los productos se gestionen adecuadamente y que el personal reciba información y capacitación apropiadas.

El manejo correcto de fichas técnicas y SDS reduce el riesgo de errores operativos, exposiciones peligrosas y respuestas inadecuadas ante emergencias. La regla fundamental es sencilla: identificar el producto, consultar la información correspondiente y confirmar que existen condiciones seguras antes de utilizarlo.

5.4 Reportes de producción y entrega al laboratorio analítico

Los reportes de producción y los documentos de entrega al laboratorio analítico permiten registrar las actividades de muestreo y preparación, controlar el volumen de trabajo realizado y asegurar que las muestras se procesen y analicen de acuerdo con los requerimientos establecidos.

En las operaciones mineras, estos registros facilitan la comunicación entre el personal de campo, el área de preparación mecánica, el laboratorio analítico y los responsables técnicos. Su calidad depende de que la información sea completa, verificable, coherente y trazable.

El trabajador debe registrar las actividades efectivamente realizadas, identificar las muestras procesadas y comunicar oportunamente cualquier incidencia que pueda afectar la calidad o la continuidad del trabajo.

Registro de producción

El reporte de producción documenta las actividades ejecutadas durante un turno, una jornada o un período definido. Su contenido depende de las funciones del trabajador, del procedimiento interno y de los indicadores establecidos por la operación.

En el área de muestreo y preparación mecánica, el reporte puede incluir:

- Identificación del turno: fecha, horario, área de trabajo y responsable.
- Actividad realizada: recepción, secado, chancado, división, pulverización, tamizado u otra tarea autorizada.
- Volumen de trabajo: número de muestras recibidas, procesadas, terminadas, pendientes o rechazadas.
- Identificación de las muestras: códigos o rangos de códigos que permitan relacionar el registro con las muestras correspondientes.
- Equipos utilizados: identificación del equipo, cuando lo exija el procedimiento.

- Control de calidad: verificaciones efectuadas y resultados registrados según los controles aplicables.
- Incidencias operativas: paradas, averías, pérdidas de material, contaminación sospechada, retrasos o desviaciones.
- Acciones adoptadas: medidas correctivas, comunicaciones realizadas y estado de las actividades pendientes.

Los datos deben reflejar la actividad real. No deben registrarse como terminadas las muestras que continúan en proceso ni atribuirse a un turno cantidades que no hayan sido verificadas.

Indicadores de producción

Los indicadores permiten evaluar el rendimiento del trabajo, identificar cuellos de botella y organizar los recursos. Deben interpretarse considerando la complejidad de las muestras, las condiciones operativas y los requisitos de calidad.

Entre los indicadores habituales se encuentran los siguientes:

Indicador	Forma de registro o cálculo	Utilidad
Muestras recibidas	Número de muestras ingresadas durante el período	Controlar la carga de trabajo
Muestras procesadas	Número de muestras que completaron una etapa definida	Evaluar el avance operativo
Muestras pendientes	Muestras que todavía no completaron el proceso	Organizar las tareas siguientes
Tiempo de procesamiento	Tiempo empleado en una etapa o lote	Detectar demoras y oportunidades de mejora
Disponibilidad del equipo	Tiempo disponible respecto del tiempo programado, según la definición interna	Identificar pérdidas por paradas
Incidencias registradas	Número y tipo de eventos documentados	Priorizar acciones preventivas y correctivas

Los indicadores deben utilizar definiciones uniformes. Por ejemplo, una muestra puede considerarse procesada en chancado, pero continuar pendiente de división y pulverización. Por ello, es necesario identificar la etapa a la que corresponde cada cantidad.

Cuando se comparan turnos o períodos, deben utilizarse los mismos criterios de conteo y las mismas unidades. Las cifras de producción no deben interpretarse aisladamente: un mayor número de muestras procesadas no demuestra por sí mismo que el trabajo haya cumplido los requisitos de calidad.

Control de las muestras procesadas

Cada muestra debe mantener su identificación durante las etapas de preparación. El reporte de producción debe permitir relacionar el trabajo ejecutado con los códigos correspondientes, sin depender exclusivamente de la memoria del operador.

Para controlar el avance, pueden utilizarse estados operativos definidos por el procedimiento interno, como:

- Recibida: la muestra ingresó al área y se verificó su identificación.
- En preparación: la muestra se encuentra en una etapa del proceso.
- Preparada: completó las etapas previstas para su entrega.
- Pendiente: requiere una operación, revisión o autorización adicional.
- Observada: presenta una discrepancia o condición que debe evaluarse.
- Rechazada o retenida: no puede continuar hasta que se resuelva la causa, según el procedimiento aplicable.

Estos estados deben estar claramente definidos para evitar interpretaciones diferentes entre trabajadores y turnos.

Si se detecta una discrepancia entre el código de la muestra y el registro, el operador no debe asignar una identificación por suposición. Debe separar o retener la muestra de acuerdo con el procedimiento, informar al responsable y documentar la incidencia.

Preparación de la documentación para el laboratorio analítico

Antes de entregar las muestras, se debe verificar que el material preparado corresponda al trabajo solicitado y que la documentación permita al laboratorio identificarlo sin ambigüedades.

La documentación puede incluir una orden de análisis, una relación de muestras o una solicitud electrónica, según el sistema utilizado por la operación.

Los datos habituales son:

- Identificación del proyecto o cliente: nombre, código del proyecto y área de procedencia.
- Código único de cada muestra: debe coincidir con la etiqueta y el registro correspondiente.
- Tipo de material: por ejemplo, mineral, testigo de perforación, muestra de canal o relave, según corresponda.
- Análisis solicitado: determinación analítica requerida y método o paquete de análisis, cuando esté especificado.
- Matriz o material de referencia: información necesaria para que el laboratorio confirme la idoneidad del método.
- Cantidad y presentación: número de muestras, recipientes, bolsas o paquetes entregados.
- Requisitos especiales: preparación adicional, límites de detección u otras condiciones acordadas, cuando sean pertinentes.
- Información de control de calidad: identificación de blancos, duplicados y materiales de referencia certificados, cuando formen parte del lote.
- Fecha y responsables: datos de quien prepara, verifica y entrega la documentación, según el procedimiento.

No todos los campos son obligatorios para todos los proyectos. La información requerida debe ajustarse a la solicitud analítica, al contrato, al procedimiento del laboratorio y a los requisitos técnicos aplicables.

Verificación antes de la entrega

La verificación previa reduce los errores de identificación, las solicitudes incompletas y los retrasos en el análisis. Antes de liberar un lote, el trabajador debe revisar los siguientes aspectos:

1. Correspondencia de códigos: comprobar que los códigos de las etiquetas coincidan con la relación de muestras.
2. Integridad de los envases: verificar que las bolsas, recipientes o paquetes estén cerrados adecuadamente y sin daños que comprometan el contenido.
3. Condición de la muestra: confirmar que se haya completado la preparación solicitada y que no existan observaciones pendientes.
4. Cantidad de muestras: comparar el número físico de muestras con el número declarado en la documentación.
5. Solicitud analítica: comprobar que los análisis solicitados estén registrados correctamente.
6. Controles de calidad: verificar la identificación y ubicación de los controles incluidos en el lote, conforme al protocolo.
7. Documentación: confirmar que la relación de muestras y los documentos requeridos estén completos.
8. Liberación: obtener la revisión o autorización correspondiente cuando el procedimiento la exija.

Si una muestra no cumple las condiciones establecidas, no debe incluirse automáticamente en el lote como si estuviera conforme. La observación debe documentarse y resolverse antes de su liberación, salvo que exista una instrucción autorizada que establezca otro tratamiento.

Embalaje, entrega y recepción por el laboratorio

Las muestras preparadas deben acondicionarse para proteger su integridad durante el almacenamiento y el transporte. El tipo de embalaje depende de la naturaleza del material, la presentación de la muestra y los riesgos asociados.

El personal debe comprobar que los recipientes sean adecuados, que las etiquetas permanezcan legibles y que el embalaje evite pérdidas o mezclas durante la manipulación. Cuando el procedimiento lo requiera, se utilizan precintos u otros medios de seguridad.

En la entrega, se debe registrar la transferencia al responsable de transporte o al laboratorio receptor, según el sistema establecido. La información puede incluir:

- Fecha y hora de entrega.
- Identificación del lote o conjunto de muestras.
- Número de muestras entregadas.
- Nombre o identificación de quien entrega y de quien recibe.

- Estado del embalaje y observaciones relevantes.
- Número de guía, comprobante o referencia de envío, cuando corresponda.

El laboratorio receptor puede verificar la identificación, el número de muestras, la integridad de los envases y la correspondencia con la solicitud. Si detecta diferencias, debe comunicarlas para su resolución antes de continuar, cuando estas puedan afectar la identificación o la validez del trabajo.

La firma, confirmación electrónica o registro de recepción debe seguir el procedimiento acordado. La entrega física no implica necesariamente que el laboratorio haya aceptado todas las muestras para análisis: la aceptación puede quedar sujeta a una inspección de recepción.

Comunicación de incidencias y resultados operativos

Una incidencia debe comunicarse de manera objetiva, indicando qué ocurrió, dónde, cuándo, qué muestras o equipos están involucrados y qué medida se adoptó.

Por ejemplo, si durante la pulverización se identifica una posible pérdida de material, el operador debe registrar los códigos afectados, detener o retener el proceso cuando corresponda y notificar al responsable. No debe completar el reporte con una cantidad estimada como si fuera un dato confirmado.

Cuando existan retrasos, averías o lotes incompletos, el reporte debe distinguir entre:

- Hecho observado: lo que efectivamente ocurrió.
- Impacto operativo: muestras, etapas o tiempos afectados.
- Medida adoptada: acción ejecutada o solicitud de intervención.
- Estado pendiente: decisión o actividad que todavía debe completarse.

Esta estructura facilita la revisión posterior y evita que las incidencias se oculten dentro de cifras generales de producción.

Ejemplo práctico de reporte y entrega

Durante un turno, un operador recibe 48 muestras minerales para preparación. Al finalizar la jornada, 40 han completado las etapas solicitadas, 6 continúan pendientes de pulverización y 2 quedan retenidas por discrepancias de identificación.

El reporte debe registrar las tres categorías por separado. Las 40 muestras preparadas pueden incorporarse al lote de entrega si cumplen todos los requisitos; las 6 pendientes deben permanecer identificadas y bajo control; y las 2 retenidas no deben enviarse para análisis hasta que se resuelvan las discrepancias, conforme al procedimiento.

La documentación de entrega debe reflejar exclusivamente las muestras efectivamente liberadas. Si se entregan las 40 muestras preparadas, la relación del lote debe contener 40 códigos coincidentes con sus etiquetas y con la solicitud analítica.

Este ejemplo muestra que el control de producción y la calidad documental están vinculados: una cifra correcta, acompañada de una relación de muestras incorrecta, no permite garantizar una entrega confiable.

Archivo y conservación de los registros

Los reportes deben conservarse conforme al sistema documental y a los plazos aplicables en la organización. Los registros pueden mantenerse en formularios físicos, hojas de cálculo o sistemas informáticos, siempre que permitan recuperar la información y controlar las modificaciones.

El archivo debe facilitar la consulta por fecha, turno, proyecto, equipo, lote o código de muestra, según las necesidades operativas. Las correcciones deben realizarse de manera trazable, sin borrar información original cuando el sistema exija conservar el historial.

La documentación debe protegerse frente a pérdidas, accesos no autorizados y modificaciones no controladas. Los reportes de producción, las solicitudes analíticas y los comprobantes de recepción deben poder relacionarse entre sí para facilitar las verificaciones y la investigación de discrepancias.

En síntesis, un reporte confiable registra lo que realmente se hizo; una entrega correcta permite identificar cada muestra y conocer los análisis solicitados; y una recepción documentada confirma qué material fue transferido al laboratorio. Estos tres elementos contribuyen a mantener la continuidad operativa y la confiabilidad de los resultados analíticos.

5.5 Organización y control del área de preparación de muestras

La organización del área de preparación de muestras minerales influye directamente en la seguridad del personal, la eficiencia operativa, la prevención de la contaminación y la confiabilidad de los resultados analíticos. Una distribución inadecuada de equipos, materiales y muestras puede provocar cruces entre etapas, pérdidas de material, errores de identificación, acumulación de polvo y retrasos en la producción.



El área debe organizarse de acuerdo con el volumen de trabajo, las características de las muestras, los equipos disponibles y los procedimientos establecidos por la operación. Cada trabajador debe conocer las zonas de trabajo, los flujos de circulación, las responsabilidades asignadas y los criterios para mantener el orden y reportar desviaciones.

Distribución funcional del área

La distribución debe facilitar el desplazamiento controlado de las muestras desde su recepción hasta su preparación y despacho al laboratorio analítico. Siempre que las instalaciones lo permitan, se deben diferenciar las zonas según las actividades que se realizan y el nivel de preparación del material.

Las principales zonas funcionales son:

- Recepción y registro: ingreso de muestras, verificación de documentos, asignación o comprobación de códigos y registro de observaciones.
- Almacenamiento temporal de muestras recibidas: conservación de las muestras pendientes de preparación, con identificación visible y separación de los lotes.
- Secado: ubicación de bandejas y equipos destinados al secado, respetando las condiciones establecidas para cada material.
- Chancado: reducción del tamaño de partícula mediante los equipos autorizados.
- División y cuarteo: reducción representativa de la masa de la muestra, evitando pérdidas y segregación.
- Pulverización y tamizado: obtención de la granulometría requerida y verificación de las condiciones especificadas.
- Envasado y despacho: acondicionamiento, identificación y preparación de las muestras terminadas para su entrega.
- Almacenamiento de muestras retenidas: conservación de duplicados, rechazos, testigos o remanentes cuando lo requiera el procedimiento.

La separación física de estas zonas debe responder a los riesgos y al flujo real de trabajo. En instalaciones pequeñas, algunas actividades pueden compartir un espacio, pero es necesario establecer medidas que eviten la mezcla de muestras, la contaminación cruzada y la interferencia entre operaciones.

Flujo de trabajo y circulación de las muestras

Un flujo de trabajo bien definido reduce desplazamientos innecesarios y facilita el control de cada etapa. La secuencia debe corresponder al procedimiento técnico aprobado y a los requisitos del material.

Una secuencia habitual es:

Recepción → Registro → Secado, cuando corresponda → Chancado → División → Pulverización → Verificación → Envasado → Entrega al laboratorio.

No todas las muestras requieren exactamente las mismas operaciones. El proceso depende del tipo de muestra, del análisis solicitado y de las especificaciones del proyecto.

Durante el desplazamiento, deben mantenerse separados los materiales que se encuentran en distintas etapas. Las muestras recibidas no deben confundirse con las muestras preparadas, y los lotes pendientes de revisión deben permanecer identificados.

Los recipientes, bandejas y superficies de trabajo deben utilizarse de manera que se eviten pérdidas de finos, mezclas accidentales y transferencias no controladas de material. Cuando una muestra deba regresar a una etapa anterior, el movimiento debe estar autorizado y registrado según el procedimiento interno.

Organización de equipos, herramientas y materiales

Los equipos deben instalarse en lugares adecuados para su operación, limpieza, inspección y mantenimiento. La ubicación debe considerar el acceso del operador, la circulación del personal, la alimentación eléctrica, la extracción de polvo y las condiciones de estabilidad y fijación establecidas por el fabricante.

Las herramientas y los accesorios deben tener ubicaciones definidas para facilitar su localización y comprobar su estado. Los elementos dañados o que no sean adecuados para la tarea deben retirarse del uso y comunicarse al responsable.

La organización debe considerar los siguientes criterios:

- Mantener libres los accesos, las rutas de circulación y las salidas de emergencia.
- Evitar la acumulación de muestras, bandejas, sacos y materiales en zonas de paso.
- Identificar los recipientes y las herramientas que se utilizan en cada etapa.
- Mantener disponibles los elementos de limpieza compatibles con los equipos y materiales.
- Almacenar los repuestos y consumibles en lugares definidos.
- Separar los materiales limpios de aquellos que contienen residuos de procesamiento.

- Respetar las distancias de seguridad y las restricciones de acceso establecidas para cada equipo.

Los materiales no deben colocarse sobre las máquinas, tableros eléctricos o dispositivos de seguridad. La disponibilidad de espacio para trabajar debe evaluarse considerando tanto las condiciones normales como las tareas de mantenimiento y la atención de incidentes.

Control de contaminación cruzada

La contaminación cruzada se produce cuando material procedente de una muestra se transfiere involuntariamente a otra. En la preparación de minerales, incluso una pequeña transferencia puede afectar el resultado analítico, especialmente cuando existen diferencias importantes en las concentraciones de los elementos estudiados.

El control debe aplicarse en las distintas etapas del proceso, desde la recepción hasta el envasado.

Las medidas fundamentales incluyen:

- Limpiar las superficies de contacto y los equipos entre muestras o lotes, conforme al procedimiento establecido.
- Comprobar que no queden residuos en las cámaras de chancado, recipientes, divisores y pulverizadores.
- Utilizar herramientas y recipientes limpios, adecuados e identificados.
- Evitar que el material preparado entre en contacto con muestras sin procesar o con residuos de otras operaciones.
- Controlar el movimiento de bandejas, utensilios y recipientes entre zonas.
- Aplicar procedimientos específicos cuando el material o el programa analítico requieran precauciones adicionales.
- Registrar las incidencias que puedan comprometer la integridad de una muestra.

La secuencia de procesamiento también puede formar parte del control. Cuando el procedimiento técnico lo establezca, las muestras con concentraciones elevadas de determinados elementos pueden procesarse en un orden específico o requerir limpieza reforzada entre muestras.

No debe asumirse que una limpieza visual garantiza la ausencia de contaminación. La eficacia de la limpieza debe responder al procedimiento validado y a los requisitos de calidad del laboratorio.

Control del polvo, la limpieza y el orden

El chancado, la pulverización, el tamizado y la manipulación de materiales secos pueden generar polvo. La exposición depende de las características del material, la cantidad de polvo generado, la duración de la tarea y la eficacia de los controles instalados.

La organización del área debe priorizar las medidas técnicas, como el cerramiento de equipos, la extracción localizada y otros sistemas de control apropiados. Los equipos de

protección personal deben seleccionarse según la evaluación de riesgos y no utilizarse como sustituto de los controles colectivos que sean necesarios.

La limpieza debe efectuarse mediante métodos compatibles con el material, el equipo y los riesgos presentes. Cuando exista riesgo de dispersar polvo peligroso, no deben utilizarse métodos que lo levanten innecesariamente, como barrer en seco o soplar con aire comprimido sin una evaluación y autorización específicas.

El área debe mantenerse libre de acumulaciones que puedan afectar la operación, ocultar derrames, dificultar la circulación o generar condiciones inseguras. Los residuos deben recogerse y gestionarse según los procedimientos aplicables.

Orden y limpieza no significan solamente una buena apariencia: son medidas operativas para reducir errores, mejorar la accesibilidad y mantener condiciones de trabajo controladas.

Control de inventario y almacenamiento de muestras

El área debe disponer de un sistema para conocer qué muestras están presentes, dónde se encuentran y cuál es su estado. Este control evita pérdidas, entregas equivocadas y almacenamiento innecesario.

El registro de almacenamiento puede incluir:

- Código único de la muestra.
- Proyecto, lote o procedencia.
- Fecha de recepción y, cuando corresponda, fecha de preparación.
- Estado del proceso.
- Ubicación física o código del estante.
- Condiciones especiales de almacenamiento, si fueran necesarias.
- Motivo de retención y responsable de la autorización, cuando corresponda.
- Fecha de despacho, devolución o eliminación autorizada.

Las muestras deben conservarse en recipientes adecuados y con identificación legible. El período de retención debe responder a los requisitos del proyecto, del laboratorio y del sistema documental aplicable.

Las muestras retenidas no deben eliminarse, mezclarse ni reutilizarse sin la autorización correspondiente. La disposición final debe quedar registrada cuando el procedimiento así lo requiera.

El almacenamiento de reactivos, productos de limpieza y otras sustancias químicas debe gestionarse por separado de las muestras minerales, de acuerdo con sus riesgos, compatibilidades y condiciones de seguridad.

Inspecciones y mantenimiento del área

Las inspecciones permiten detectar condiciones que pueden afectar la seguridad, la calidad y la continuidad del trabajo. Su frecuencia debe establecerse de acuerdo con los riesgos, las instrucciones del fabricante y el sistema de gestión de la operación.

Una inspección puede abarcar los siguientes aspectos:

Aspecto	Qué verificar	Acción ante una desviación
Equipos	Guardas, protecciones, funcionamiento y condiciones visibles	Detener o restringir el uso cuando exista un riesgo y comunicar la condición
Extracción de polvo	Estado visible, conexiones y funcionamiento de los controles	Reportar fallas y aplicar las restricciones correspondientes
Orden y limpieza	Ausencia de acumulaciones, derrames y obstáculos	Corregir de forma segura y registrar lo que requiera seguimiento
Identificación	Etiquetas, códigos y correspondencia con los registros	Retener el material afectado hasta resolver la discrepancia
Herramientas	Estado, limpieza y disponibilidad	Retirar elementos inadecuados y solicitar su reposición
Almacenamiento	Ubicación, estabilidad, identificación y segregación	Reorganizar o aislar los materiales según el procedimiento
Emergencias	Accesibilidad de salidas y equipos de emergencia	Comunicar y corregir inmediatamente las condiciones peligrosas

Las inspecciones no sustituyen al mantenimiento preventivo ni a las verificaciones técnicas de los equipos. Si se detecta una falla que compromete la seguridad, el equipo debe quedar fuera de servicio hasta que sea evaluado y autorizado para volver a operar.

Toda intervención que requiera retirar protecciones, acceder a partes móviles o trabajar sobre componentes eléctricos debe ejecutarse por personal autorizado, con aislamiento de energías y aplicación del procedimiento correspondiente.

Gestión de residuos y protección ambiental

Las actividades de preparación pueden generar polvo, restos de mineral, material derramado, envases, consumibles usados y otros residuos. Su manejo debe ajustarse a las características del residuo y a los procedimientos establecidos en la instalación.

El personal debe evitar la dispersión de polvo y la descarga de materiales en lugares no autorizados. Los residuos no deben mezclarse indiscriminadamente, especialmente cuando su composición o contaminación pueda exigir una gestión diferenciada.

Las medidas de control incluyen:

- Identificar los residuos generados en cada operación.
- Segregarlos cuando corresponda, de acuerdo con su naturaleza y las instrucciones internas.
- Utilizar recipientes adecuados y mantenerlos identificados.
- Evitar derrames durante la recolección y el traslado.
- Mantener registros de retirada o entrega cuando sean requeridos.
- Comunicar la presencia de residuos desconocidos o potencialmente peligrosos antes de manipularlos.

El material mineral residual no debe considerarse automáticamente inocuo. Su gestión debe tener en cuenta la composición conocida o potencial, los riesgos identificados y los requisitos ambientales aplicables.

Coordinación del personal y control de responsabilidades

La organización del área exige que las responsabilidades estén definidas. El personal debe conocer quién recibe las muestras, quién controla los registros, quién autoriza la liberación de lotes y quién coordina el mantenimiento o la respuesta ante incidencias.

Al inicio del turno, es conveniente revisar la carga de trabajo, las muestras pendientes, la disponibilidad de equipos y las condiciones relevantes de seguridad. Durante el turno, los trabajadores deben comunicar los cambios que afecten a la programación, la identificación o la calidad del material.

Al finalizar el turno, se deben dejar las muestras identificadas y almacenadas correctamente, los equipos en la condición establecida por el procedimiento y los registros actualizados. Las actividades incompletas y las incidencias deben comunicarse al personal entrante.

La transferencia de información entre turnos debe ser clara y verificable. Las instrucciones verbales pueden complementar los registros, pero no deben sustituir la documentación obligatoria de las operaciones.

Indicadores de control del área

Para evaluar la organización y detectar oportunidades de mejora, pueden utilizarse indicadores definidos por la operación.

Entre ellos se encuentran:

- Cumplimiento de inspecciones: proporción de inspecciones ejecutadas respecto de las programadas.
- Incidencias de identificación: número de discrepancias detectadas en los registros o las muestras.
- Eventos de contaminación sospechada: cantidad de incidentes documentados relacionados con la posible transferencia de material.
- Tiempo de espera: tiempo durante el cual las muestras permanecen pendientes entre etapas.
- Paradas de equipos: frecuencia y duración de las interrupciones por fallas u otras causas.
- Cumplimiento de limpieza: proporción de tareas de limpieza ejecutadas conforme al programa.
- Muestras pendientes de despacho: cantidad de muestras preparadas que todavía no han sido entregadas.

Cada indicador debe tener una definición, una fuente de datos, una periodicidad y un responsable. Las comparaciones deben realizarse sobre períodos y criterios equivalentes.

Los resultados deben utilizarse para identificar causas y establecer acciones correctivas. Por ejemplo, un aumento del tiempo de espera puede indicar una capacidad insuficiente en una etapa, problemas de coordinación o retrasos en la recepción de documentos. No debe atribuirse automáticamente a un bajo rendimiento individual sin analizar las condiciones del proceso.

Lista de verificación operativa

La siguiente lista puede adaptarse a las características del laboratorio para efectuar una revisión rutinaria del área.

- ☐ Las zonas de trabajo están identificadas y las rutas de circulación se encuentran libres.
- ☐ Las muestras están identificadas y ubicadas de acuerdo con su estado.
- ☐ Los equipos presentan condiciones operativas adecuadas y sus protecciones están instaladas.
- ☐ Los sistemas de control de polvo funcionan según las condiciones requeridas.
- ☐ Las herramientas y los recipientes están limpios y disponibles.
- ☐ No existen acumulaciones o derrames que comprometan la seguridad o la calidad.
- ☐ Los productos químicos están identificados y almacenados según sus requisitos.
- ☐ Los residuos se encuentran segregados y contenidos según el procedimiento.
- ☐ Los registros de producción, inspección y mantenimiento están actualizados.
- ☐ Las incidencias y las actividades pendientes han sido comunicadas al responsable correspondiente.

Una respuesta negativa no debe limitarse a marcar una casilla: debe evaluarse la importancia de la desviación, establecerse la acción necesaria y documentarse su seguimiento cuando corresponda.

La organización eficaz del área de preparación de muestras requiere mantener un flujo de trabajo definido, equipos en condiciones adecuadas, muestras identificadas, controles de contaminación, orden y limpieza, y registros verificables. La aplicación sistemática de estas medidas contribuye a proteger al personal, reducir errores operativos y preservar la integridad de las muestras durante todo el proceso de preparación.

Este curso ha sido desarrollado por **INFOSET** con el objetivo de proporcionar a técnicos, operarios y trabajadores vinculados a las operaciones mineras las **competencias fundamentales para realizar actividades de muestreo, preparación mecánica y control de muestras minerales**, contribuyendo a la confiabilidad de los resultados analíticos y al cumplimiento de los procedimientos establecidos.

El curso busca acercar los **conocimientos técnicos del muestreo y la preparación de muestras a la realidad cotidiana del trabajador minero y del laboratorio**, abordando los principios estadísticos del muestreo, los principales tipos de muestras, las técnicas de recolección en campo y los criterios de identificación, conservación y trazabilidad del material. También introduce los conceptos básicos de los códigos de reporte **JORC y NI 43-101**, relevantes para comprender la importancia de la calidad y la documentación de los datos geológicos y mineros.

Se desarrollan los procedimientos de **recepción, registro, secado, chancado, división, pulverización y tamizado de muestras minerales**, considerando el funcionamiento general de los equipos, el control de granulometría, la prevención de pérdidas de material y las condiciones necesarias para mantener la representatividad de las muestras durante las distintas etapas de preparación.

Es fundamental comprender el muestreo y la preparación de muestras como un **proceso integrado**, en el que la representatividad del material, la correcta ejecución de las operaciones, la limpieza de los equipos, la identificación de las muestras y la trazabilidad de los registros interactúan continuamente. Por ello, el curso aborda los principios de la teoría de Gy, los errores de muestreo, la prevención de la contaminación cruzada y la importancia de mantener la integridad de las muestras desde su recolección hasta su entrega al laboratorio analítico.

La capacitación también considera los principios de **aseguramiento y control de calidad (QA/QC)**, incluyendo el uso de duplicados, blancos y materiales de referencia certificados, el registro de desviaciones y la introducción a los gráficos de control de Shewhart. Estos conocimientos permiten reconocer resultados o condiciones anormales, documentar incidencias y comprender la importancia de investigar las desviaciones antes de aceptar que un proceso se encuentra bajo control.

El trabajador debe desarrollar sus actividades de acuerdo con los **procedimientos técnicos, las instrucciones de trabajo y la normativa aplicable**, reconociendo los límites de sus responsabilidades y comunicando oportunamente cualquier condición que pueda comprometer la seguridad, la calidad o la continuidad de las operaciones. Los registros de producción, las fichas técnicas, las hojas de datos de seguridad (SDS), las órdenes de análisis y los documentos de entrega permiten mantener el control operativo y la trazabilidad del trabajo realizado.

La seguridad constituye una parte fundamental de las actividades de muestreo y preparación de muestras. Por ello, el curso considera la **identificación de peligros, el uso adecuado de equipos de protección personal (EPP), la operación segura de chancadoras, divisores y pulverizadores, el control de la exposición al polvo, la manipulación responsable de productos químicos y la aplicación de procedimientos de bloqueo y aislamiento de energías cuando corresponda**. También se aborda la

organización del área de trabajo, la prevención de incidentes y el manejo adecuado de residuos.

La coordinación entre **personal de campo, operarios de preparación, laboratorio analítico, responsables de control de calidad y supervisión** permite mantener la continuidad del proceso, resolver discrepancias de identificación, atender incidencias y asegurar que las muestras sean entregadas conforme a los requisitos establecidos. La comunicación efectiva y la correcta transferencia de información entre turnos contribuyen a reducir errores y retrasos.

La **mejora continua** forma parte de la gestión del muestreo y la preparación de muestras. Los errores recurrentes, las incidencias de contaminación, las discrepancias de identificación, los resultados de QA/QC, los tiempos de procesamiento, las paradas de equipos y las observaciones de campo pueden proporcionar información útil para mejorar los procedimientos, fortalecer los controles y optimizar la organización del área de trabajo.

La difusión de este contenido está **permitida siempre que se mantenga el reconocimiento a INFOSET** como entidad autora. Compartir este conocimiento forma parte de nuestra misión: **democratizar el acceso a la capacitación profesional y contribuir al desarrollo de trabajadores y organizaciones.**

Agradecemos a cada participante por su interés y compromiso con su desarrollo profesional. Un muestreo representativo, una preparación mecánica controlada, una identificación correcta de las muestras y una gestión adecuada de la seguridad y la documentación contribuyen a obtener resultados analíticos más confiables y a fortalecer la calidad de las operaciones mineras.

Administración de INFOSET