

APUNTES DEL MÓDULO 1

Seguridad Industrial y Fundamentos Operacionales



Mantenimiento Industrial de Plantas de Chancado, Correas y Equipos de Proceso (imagen real)

Material de estudio

Módulo 1

Contenido del módulo

- 1 **El contexto operacional: seguridad como cimiento del mantenimiento efectivo**
- 2 **Riesgos críticos en plantas de chancado: clasificación y reconocimiento por equipo**
- 3 **Jerarquía de controles: priorizar la efectividad sobre la facilidad**
- 4 **Procedimiento LOTO: bloqueo y etiquetado de energías peligrosas**
- 5 **Energías peligrosas: identificación y control de fuentes múltiples**
- 6 **Funcionamiento general de equipos de chancado y transporte: el flujo del proceso**

La seguridad industrial y el conocimiento operacional son la base inseparable de cualquier actividad de mantenimiento en plantas de chancado y procesamiento de minerales. En entornos donde convergen equipos de alta potencia, materiales abrasivos, operación continua 24/7 y múltiples fuentes de energía peligrosa, ninguna intervención técnica puede ejecutarse de forma efectiva si no se sustenta primero en procedimientos rigurosos de control de riesgos. Este módulo te preparará para reconocer los peligros críticos presentes en chancadores, correas transportadoras, harneros y equipos auxiliares, y te dotará de las herramientas procedimentales —especialmente el bloqueo LOTO— que garantizan que cada tarea de mantenimiento se ejecute protegiendo la integridad del personal y la continuidad operacional de la planta.

1

El contexto operacional: seguridad como cimiento del mantenimiento efectivo

Roberto Figueroa, supervisor de mantenimiento en Minería Andina del Pacífico, enfrenta un desafío común en la industria: su planta de chancado ha sufrido 6 paradas no programadas en 8 semanas, acumulando 47 horas de producción perdidas. La planta procesa 800 toneladas diarias de mineral de cobre y molibdeno en operación continua, con equipos que incluyen chancadores primarios y secundarios, correas transportadoras, harneros, bombas Warman e hidrociclones.

Cada parada imprevista genera costos de mantenimiento reactivo, afecta la moral del equipo y —lo más crítico— aumenta el riesgo de incidentes cuando el personal trabaja bajo presión para restablecer la operación. Roberto identifica que el punto de partida para resolver este problema no está en tecnología ni en repuestos, sino en dos pilares fundamentales:

- **Cultura de seguridad sólida:** que garantice que cada intervención se ejecute con control total de riesgos, eliminando el apuro y la improvisación.
- **Conocimiento operacional profundo:** que permita al personal de mantenimiento comprender cómo fluye el mineral, qué componentes son críticos en cada etapa, y cuáles son las señales de operación normal versus síntomas de falla.

Un ejemplo concreto: durante una de las paradas, un técnico intentó liberar un atasco en el chancador secundario sin verificar el bloqueo eléctrico completo. El equipo arrancó por señal remota desde sala de control, causando un incidente sin lesiones solo por fortuna. Este caso ilustra que **la seguridad no es un trámite burocrático**: es la condición que permite trabajar de forma sostenible, aprender de cada intervención y volver a casa cada día.

El conocimiento operacional tampoco es opcional. Un técnico que no comprende que el chancador de cono opera por compresión progresiva del mineral entre manto y cóncavo, difícilmente identificará que un aumento de temperatura en el aceite lubricante puede indicar desalineación del eje principal. **No puedes mantener de forma segura lo que no comprendes, ni puedes comprender sin respetar los procedimientos que protegen tu vida.**



Planta de chancado industrial mostrando chancador primario, correas transportadoras y elementos de seguridad (barandas, plataformas, señalización). Los procedimientos LOTO y el uso correcto de EPP son fundamentales en este entorno de múltiples fuentes de energía peligrosa.

✓ Puntos clave

- Las paradas no programadas tienen origen frecuente en mantenimiento reactivo ejecutado sin control riguroso de riesgos
- La seguridad y el conocimiento operacional son dos caras de la misma moneda: interdependientes e inseparables
- Trabajar bajo presión aumenta exponencialmente la probabilidad de incidentes graves
- Comprender el flujo del proceso y los componentes críticos es requisito previo para cualquier intervención de mantenimiento



Para reflexionar

- ¿Qué situaciones de presión operacional has experimentado en tu planta que hayan comprometido la aplicación de procedimientos de seguridad?
- ¿Cómo explicarías el funcionamiento básico del equipo principal de tu área a un técnico nuevo, en términos que conecten operación con riesgos de mantenimiento?

2

Riesgos críticos en plantas de chancado: clasificación y reconocimiento por equipo

En plantas de chancado y procesamiento de minerales, el personal de mantenimiento enfrenta un entorno donde convergen múltiples fuentes de peligro. Reconocer estos riesgos de forma específica y anticipada es el primer paso para controlarlos efectivamente. Los riesgos críticos se clasifican en cinco categorías principales:

Tipo de riesgo	Fuente del peligro	Consecuencia potencial
Atrapamiento	Correas en movimiento, poleas, chancadores operando, rodillos de retorno	Lesiones graves, amputaciones, fatalidad
Caída de altura	Plataformas de inspección, escaleras de acceso, pasarelas laterales de correas	Fracturas, traumatismos craneoencefálicos, fatalidad
Golpe por objetos	Proyección de mineral, desprendimiento de piezas desgastadas, caída de material acumulado	Contusiones, heridas, traumatismo craneal
Contacto eléctrico	Motores, tableros de control, cableado sin bloqueo adecuado	Quemaduras, paro cardíaco, fatalidad
Exposición a agentes	Ruido de trituración (>95 dB), polvo de mineral, vibraciones continuas	Hipoacusia, enfermedades respiratorias, fatiga crónica

Riesgos específicos por tipo de equipo:

Chancadores primarios y secundarios: El riesgo de atrapamiento en la cámara de trituración durante limpieza de atascos es crítico. La proyección de rocas al abrir compuertas de inspección puede causar impactos graves. El nivel de ruido supera frecuentemente 95 dB en zona de operación, y las vibraciones constantes pueden aflojar pernos de fijación, generando desprendimientos de componentes.

Correas transportadoras: Los puntos de pellizco entre correa-polea y correa-rodillo son zonas de atrapamiento frecuente. Las pasarelas laterales de inspección presentan riesgo de caída, especialmente durante limpieza de derrames. El contacto con rodillos en movimiento durante limpieza sin bloqueo ha causado incidentes graves. El arranque inesperado por falla en sistema de bloqueo es un riesgo latente permanente.

Harneros vibratorios: La exposición a vibraciones intensas durante inspección de mallas puede causar fatiga y pérdida de equilibrio. La caída de material acumulado al abrir compuertas inferiores puede golpear al personal. Los motores vibradores generan superficies calientes que pueden causar quemaduras por contacto.

Bombas Warman e hidrociclones: La proyección de pulpa a presión durante desconexión de tuberías es un riesgo químico y mecánico. Los impulsores desgastados presentan bordes cortantes que pueden causar heridas durante manipulación. La exposición a químicos en pulpas con reactivos de flotación requiere protección específica.

Un caso real: en una planta de la zona norte, un técnico sufrió amputación parcial de mano al intentar retirar acumulación de mineral en polea de cola de correa transportadora sin detener el equipo. La investigación reveló que el técnico conocía el procedimiento, pero la presión por restablecer producción lo llevó a tomar un atajo fatal.

✓ Puntos clave

- Cada tipo de equipo presenta un perfil de riesgo específico que debe reconocerse antes de cualquier intervención
- Los puntos de pellizco en equipos rotativos (correas, poleas, rodillos) son la causa más frecuente de atrapamientos graves
- La exposición a ruido y vibraciones es acumulativa: el daño se produce por exposición repetida, no solo por eventos únicos
- La presión operacional nunca justifica omitir procedimientos de control de riesgos

Para reflexionar

- ¿Cuáles son los tres puntos de mayor riesgo de atrapamiento en los equipos de tu área de trabajo?
- ¿Qué señales visuales o auditivas te indican que un equipo presenta un riesgo inminente antes de iniciar una intervención?

3 Jerarquía de controles: priorizar la efectividad sobre la facilidad

No todos los controles de riesgo son igual de efectivos. Roberto enseña a su equipo que confiar exclusivamente en el equipo de protección personal (EPP) es el enfoque menos efectivo, aunque sea el más visible. La **jerarquía de controles**, ordenada de mayor a menor efectividad, establece prioridades claras:

- 1. Eliminación:** Rediseñar el proceso para eliminar el peligro por completo. Ejemplo: automatizar la limpieza de correas mediante sistemas de rascadores y cepillos automáticos, eliminando la necesidad de que personal ingrese a zonas de riesgo.
- 2. Sustitución:** Reemplazar el proceso o herramienta por una alternativa menos peligrosa. Ejemplo: usar herramientas extensibles con cámaras remotas para inspeccionar el interior de chancadores, en lugar de ingresar físicamente a la cámara de trituración.
- 3. Controles de ingeniería:** Instalar barreras físicas que separen al trabajador del peligro. Ejemplos: guardas de seguridad en poleas, enclavamientos eléctricos que impidan arranque si la guarda está abierta, sensores de proximidad que detengan la correa si detectan presencia humana en zona restringida, barandas perimetrales en plataformas elevadas.
- 4. Controles administrativos:** Procedimientos escritos, permisos de trabajo, capacitación, señalización, rotación de personal para limitar exposición a ruido o vibraciones. Ejemplo: implementar permiso de trabajo en caliente para soldaduras, análisis de riesgo pre-tarea (ART) obligatorio, sistema de doble verificación antes de intervenir equipos energizados.
- 5. Equipo de protección personal (EPP):** Casco, guantes, protección auditiva, antiparras, arnés de seguridad, calzado de seguridad, respiradores. Este es el **último recurso**, no el primero. El EPP protege al trabajador, pero no elimina ni reduce el peligro.

Un ejemplo aplicado: Para realizar mantenimiento en polea motriz de correa transportadora, la jerarquía correcta sería:

- **Eliminación (no aplicable en este caso):** no es posible eliminar la polea del sistema.
- **Sustitución:** reemplazar polea estándar por diseño con cubierta protectora integral que permita inspección sin exposición a punto de pellizco.
- **Control de ingeniería:** instalar guarda metálica con enclavamiento eléctrico que impida arranque de correa mientras la guarda esté abierta.
- **Control administrativo:** aplicar procedimiento LOTO, emitir permiso de trabajo, realizar ART con el equipo, señalizar zona de trabajo.
- **EPP:** casco, guantes mecánicos, calzado de seguridad, protección auditiva.

Concepto clave: Antes de ponerte el casco, pregúntate: ¿este trabajo se puede hacer de forma más segura cambiando el método, usando herramientas adecuadas o instalando una barrera física? Si la respuesta es sí, el EPP solo es complementario, no suficiente.



Detalle de procedimiento LOTO aplicado: múltiples candados personales (uno por cada trabajador que interviene) en dispositivo de bloqueo múltiple (hasp), con etiquetas de advertencia visibles. Cada candado representa la protección vital de un trabajador.

✓ Puntos clave

- La jerarquía de controles prioriza eliminar el peligro sobre proteger al trabajador del peligro
- Los controles de ingeniería (guardas, enclavamientos) son más efectivos que los controles administrativos (procedimientos, señalización)
- El EPP es el control menos efectivo porque depende del uso correcto y permanente por parte del trabajador
- En la práctica, se combinan múltiples niveles de control para lograr protección efectiva

💡 Para reflexionar

- ¿Qué controles de ingeniería adicionales podrían implementarse en tu planta para reducir dependencia del comportamiento humano?
- ¿En qué situaciones has observado que el equipo confía excesivamente en EPP sin cuestionar si el método de trabajo podría ser más seguro?

4

Procedimiento LOTO: bloqueo y etiquetado de energías peligrosas

LOTO (Lockout/Tagout, o Bloqueo y Etiquetado) es el procedimiento que garantiza que un equipo no pueda arrancar inesperadamente mientras se realiza mantenimiento. En Minería Andina, Roberto exige que LOTO se aplique en el 100% de las intervenciones en equipos con fuentes de energía peligrosa: eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, térmica o gravitacional.

Objetivo de LOTO: aislar todas las fuentes de energía y asegurar que nadie pueda reactivarlas hasta que el trabajo esté completo y el personal esté fuera de la zona de riesgo.

Los 6 pasos del procedimiento LOTO:

- 1. Preparación:** Identificar todas las fuentes de energía del equipo (alimentación eléctrica principal, circuitos de control, sistemas hidráulicos, líneas de aire comprimido, energía mecánica almacenada en volantes, energía gravitacional en componentes elevados) y los dispositivos de aislamiento correspondientes (interruptores, seccionadores, válvulas, desconectores).
- 2. Notificación:** Informar a operadores de sala de control, supervisores de turno y personal que trabaja en áreas adyacentes que se realizará mantenimiento y que el equipo será bloqueado. Coordinar horario de intervención para minimizar impacto operacional.
- 3. Apagado:** Detener el equipo usando el procedimiento normal de parada (secuencia ordenada), no el paro de emergencia, salvo situación crítica. Ejemplo: en correa transportadora, detener alimentación, permitir vaciado completo de correa, luego detener motor principal.
- 4. Aislamiento:** Desconectar todas las fuentes de energía usando los dispositivos de aislamiento identificados. Abrir interruptores principales, cerrar y bloquear válvulas de sistemas hidráulicos, desconectar líneas de aire comprimido, desactivar circuitos de control.
- 5. Bloqueo y etiquetado:** Colocar candados personales en cada dispositivo de aislamiento. **Un candado por cada trabajador que intervendrá el equipo.** Instalar etiquetas visibles con nombre del trabajador, fecha y hora de bloqueo, descripción del trabajo, y advertencia clara de no operar. Si el dispositivo no permite múltiples candados, usar dispositivo de bloqueo múltiple (hasp).
- 6. Verificación:** Intentar arrancar el equipo desde el panel de control para confirmar que está efectivamente aislado. Liberar energía residual: descargar condensadores en circuitos eléctricos, purgar presión en líneas hidráulicas y neumáticas, bloquear partes móviles con cuñas mecánicas, ventilar espacios confinados.

Reglas de oro del bloqueo LOTO:

- **Un candado por persona:** Cada trabajador que interviene coloca su propio candado. Solo él puede retirarlo al completar su tarea.
- **Candado personal e intransferible:** Nadie más tiene copia de tu llave. Si pierdes la llave, el candado se corta con autorización formal de seguridad y en presencia de testigos.
- **Etiqueta siempre visible:** La etiqueta informa a otros el motivo del bloqueo, quién lo realizó y a quién contactar. Nunca retires una etiqueta ajena.

- **Verificación obligatoria:** Antes de tocar el equipo, verifica que el bloqueo es efectivo intentando el arranque desde el control.
- **Retiro solo por quien bloqueó:** Solo el trabajador que colocó el candado puede retirarlo, una vez completada su tarea y confirmado que está fuera de la zona de riesgo.

Un caso crítico: en una planta de procesamiento, un electricista retiró su candado al finalizar su turno sin verificar que otros técnicos aún trabajaban en el equipo. El operador, al ver un solo candado restante, asumió error y solicitó autorización para retirarlo. El arranque causó lesiones graves a un mecánico que aún trabajaba en el interior del chancador. La investigación determinó violación del principio fundamental: **cada candado representa una vida, y solo su dueño puede retirarlo.**

✓ Puntos clave

- LOTO es obligatorio para toda intervención en equipos con fuentes de energía peligrosa, sin excepciones
- Cada trabajador que interviene debe colocar su propio candado personal, aunque otros ya hayan bloqueado el equipo
- La verificación de bloqueo efectivo (intentar arranque) es paso crítico antes de tocar el equipo
- Las energías residuales (presión almacenada, inercia, gravedad) pueden ser tan peligrosas como las fuentes primarias
- Nunca retires un candado o etiqueta que no sea tuyo, bajo ninguna circunstancia

Para reflexionar

- ¿Qué energías residuales específicas deben liberarse en los equipos principales de tu área antes de intervenir?
- ¿Has presenciado situaciones donde la presión operacional ha llevado a alguien a considerar omitir pasos del LOTO? ¿Cómo se manejó?

5 Energías peligrosas: identificación y control de fuentes múltiples

Uno de los errores más comunes en aplicación de LOTO es asumir que un equipo solo tiene una fuente de energía. En plantas de chancado, los equipos principales típicamente tienen **múltiples fuentes de energía** que deben identificarse y controlarse de forma simultánea:

Energía eléctrica: Alimentación principal trifásica (440V o superior), circuitos de control (110V o 24V DC), sistemas de iluminación, circuitos de instrumentación. Un chancador de cono puede tener alimentación principal de 4160V para motor de accionamiento, 440V para bomba de lubricación, 110V para circuitos de control y calefactores de aceite.

Energía mecánica almacenada: Volantes de inercia en chancadores giratorios, resortes de tensión en sistemas de ajuste, contrapesos en mecanismos de levante. Un chancador de cono con sistema de ajuste hidráulico tiene resortes que mantienen precarga sobre el conjunto de trituración incluso con sistema hidráulico desactivado.

Energía hidráulica: Sistemas de ajuste de chancadores, cilindros de levante de compuertas, frenos hidráulicos, sistemas de lubricación a presión. Un chancador primario puede tener sistema hidráulico a 3000 PSI para ajuste de abertura de descarga. Esta presión debe liberarse completamente antes de intervenir componentes hidráulicos.

Energía neumática: Sistemas de aire comprimido para limpieza, actuadores de válvulas, frenos neumáticos en correas. Las líneas de aire comprimido a 120 PSI almacenan energía significativa que debe purgarse.

Energía gravitacional: Componentes suspendidos (mantos de chancadores de cono, poleas de correas elevadas, compuertas de tolvas). Un manto de chancador puede pesar más de 2 toneladas y debe bloquearse mecánicamente antes de trabajar debajo.

Energía térmica: Aceite de lubricación caliente (60-80°C), superficies de motores, vapor en sistemas de calefacción. El aceite del sistema de lubricación de un chancador de cono puede causar quemaduras graves si se abre el circuito sin enfriamiento previo.

Energía química: Baterías de respaldo en sistemas UPS, reactivos en pulpas de flotación, combustibles en grupos electrógenos de respaldo.

Un ejemplo aplicado: Para intervenir un chancador de cono en mantenimiento mayor, el procedimiento LOTO completo requiere:

- Bloquear alimentación eléctrica principal (4160V) en subestación
- Bloquear alimentación de bomba de lubricación (440V)
- Desconectar circuitos de control y calefacción de aceite (110V)
- Purgar sistema hidráulico de ajuste y bloquear válvulas
- Bloquear mecánicamente el manto en posición elevada si se trabajará debajo
- Permitir enfriamiento de aceite lubricante por debajo de 40°C
- Desconectar líneas de aire comprimido de instrumentación
- Colocar candados personales en cada punto de aislamiento por cada trabajador que interviene

La omisión de una sola fuente de energía puede ser fatal. Un técnico de una planta de la zona centro falleció al intervenir sistema hidráulico de chancador sin purgar presión residual. El pistón hidráulico se desplazó violentamente al aflojar conexión, causando traumatismo craneal fatal.

✓ Puntos clave

- Los equipos de chancado típicamente tienen entre 4 y 7 fuentes de energía diferentes que deben controlarse simultáneamente
- Las energías residuales (presión hidráulica/neumática almacenada, inercia mecánica, temperatura) pueden persistir incluso después de bloquear fuentes primarias
- La identificación completa de fuentes de energía debe realizarse en fase de preparación, consultando diagramas eléctricos, hidráulicos y mecánicos
- Cada fuente de energía identificada debe tener un dispositivo de aislamiento específico y un candado personal

Para reflexionar

- ¿Cuántas fuentes de energía diferentes puedes identificar en el equipo principal de tu área?
¿Todas están documentadas en el procedimiento LOTO?
- ¿Qué método utilizas para confirmar que has identificado todas las fuentes de energía antes de una intervención compleja?

Funcionamiento general de equipos de chancado y transporte: el flujo del proceso

Para ejecutar mantenimiento seguro y efectivo, el personal técnico debe comprender cómo fluye el mineral a través de la planta y qué función cumple cada equipo en la cadena de proceso. En Minería Andina del Pacífico, el flujo típico es:

1. Recepción y almacenamiento: El mineral ROM (Run Of Mine) llega desde mina en camiones y se descarga en tolva de alimentación primaria. La tolva tiene capacidad buffer para absorber variaciones en frecuencia de llegada de camiones y alimentar el chancador primario de forma continua.

2. Chancado primario: El mineral pasa por chancador primario (tipo mandíbula o giratorio) que reduce tamaño desde 1200mm hasta aproximadamente 150-200mm. El chancador opera por compresión: las rocas se fracturan al ser comprimidas entre superficies fijas y móviles. Este equipo es crítico: cualquier parada detiene toda la planta. Los riesgos principales son atrapamiento en cámara de trituración y proyección de material.

3. Transporte primario: Correas transportadoras llevan el mineral chancado desde descarga primaria hasta zona de almacenamiento intermedio o directamente a chancado secundario. Las correas operan 24/7 con velocidades de 2-4 m/s, transportando hasta 800 ton/h. Los puntos críticos de riesgo son poleas motrices (atrapamiento), poleas de cola (acumulación de material), y rodillos de retorno (contacto durante limpieza).

4. Clasificación y chancado secundario: Harneros vibratorios clasifican el material por tamaño. El sobretamaño pasa a chancadores secundarios (tipo cono o giratorio) que reducen hasta 25-40mm. El chancador de cono opera por compresión giratoria: el manto excéntrico gira dentro del cóncavo fijo, triturando el mineral en múltiples puntos. El sistema de lubricación es crítico: la falla de lubricación puede destruir el equipo en minutos.

5. Chancado terciario (si aplica): Para aplicaciones que requieren producto más fino, un tercer nivel de chancado reduce hasta 10-15mm. Este material alimenta molinos de bolas o circuitos de flotación.

6. Equipos auxiliares: Bombas Warman transportan pulpas (mineral molido mezclado con agua). Hidrociclones clasifican partículas por tamaño usando fuerza centrífuga. Espesadores separan sólidos de líquidos por sedimentación. Cada equipo tiene riesgos específicos: proyección de pulpa a presión, contacto con impulsores desgastados, espacios confinados en tanques.

Señales de operación normal versus síntomas de falla:

- **Chancador operando normal:** ruido uniforme, sin vibraciones anormales, amperaje del motor estable, temperatura de aceite en rango (50-70°C), sin fugas de lubricante.
- **Síntomas de falla en chancador:** ruido metálico (indica piezas sueltas o rotas), vibraciones excesivas (desalineación o desbalance), amperaje fluctuante (alimentación irregular o atasco parcial), temperatura de aceite elevada (falla de lubricación o rodamientos desgastados), fugas de aceite (sellos dañados).
- **Correa operando normal:** centrado estable de banda, sin derrames laterales, rodillos girando libremente, sin ruidos anormales, tensión uniforme.

- **Síntomas de falla en correa:** descentrado progresivo (rodillos desalineados), acumulación de material en rodillos (limpiadores inefectivos), rodillos bloqueados (rodamientos fundidos), ruido de raspado (banda rozando estructura), bandas de desgaste asimétrico (tensión desbalanceada).

Este conocimiento operacional permite al técnico de mantenimiento anticipar fallas, interpretar síntomas correctamente y comunicarse efectivamente con operadores de sala de control durante intervenciones.

✓ Puntos clave

- El flujo del proceso define las interdependencias entre equipos: una falla en chancado primario detiene toda la planta aguas abajo
- Los chancadores operan por compresión; el desgaste de superficies de trituración es progresivo y predecible
- Las correas transportadoras son el eslabón más vulnerable: operan continuamente y están expuestas a abrasión, desalineación y acumulación de material
- Reconocer síntomas tempranos de falla (ruidos anormales, vibraciones, temperaturas elevadas) permite intervención preventiva antes de daño mayor

Para reflexionar

- ¿Qué síntomas específicos has observado en tu planta que indiquen degradación progresiva de un equipo antes de falla total?
- Si tuvieras que explicar a un operador nuevo cómo identificar operación anormal en el equipo principal de tu área, ¿qué tres señales le indicarías observar?

Mapa conceptual: Seguridad y fundamentos operacionales

Cultura de seguridad	Procedimientos LOTO, jerarquía de controles, identificación de riesgos críticos por equipo
Riesgos críticos	Atrapamiento, caída de altura, golpes, contacto eléctrico, exposición a agentes (ruido, polvo, vibraciones)
Bloqueo LOTO	6 pasos: preparación, notificación, apagado, aislamiento, bloqueo/etiquetado, verificación
Energías peligrosas	Eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, gravitacional, térmica: identificación y control simultáneo
Flujo del proceso	Tolva → chancado primario → transporte → clasificación → chancado secundario/terciario → equipos auxiliares
Síntomas de falla	Ruidos anormales, vibraciones, temperaturas elevadas, amperaje fluctuante, fugas: interpretación para mantenimiento preventivo

En síntesis. Has completado el módulo fundamental de seguridad industrial y conocimiento operacional. Los procedimientos LOTO, la jerarquía de controles y el reconocimiento de riesgos críticos por equipo no son contenido teórico: son herramientas de supervivencia que aplicarás en cada intervención de mantenimiento. La comprensión del flujo del proceso, de cómo operan los chancadores por compresión, de cómo las correas transportan mineral continuamente y de cuáles son las señales que anticipan fallas, te permitirá ejecutar diagnósticos precisos y mantenimiento preventivo efectivo. En los módulos siguientes, profundizarás en inspección, diagnóstico y mantenimiento específico de cada tipo de equipo, siempre construyendo sobre esta base de seguridad y conocimiento operacional. Recuerda: cada procedimiento que aplicas correctamente te acerca a la excelencia operacional y te garantiza regresar a casa cada día. La seguridad no es negociable, y el conocimiento es tu mejor herramienta de protección.