Módulo 3 – Tema 4 – Monitoreo de la calidad del agua y herramientas para su implementación

- **Ing. Danny Flores Cruz**

RelaveNet
A Community of Excellence

INTRODUCCIÓN

Clasificación de Relaves

Gestión del contenido de agua mediante ciclones, espesadores y filtros prensa.

Contención

Presas, diques, pilas, sistemas de revestimiento y cubiertas protectoras.

Transporte de Relaves

Tuberías, canales, cintas transportadoras y camiones hacia el depósito.

Gestión de Filtraciones

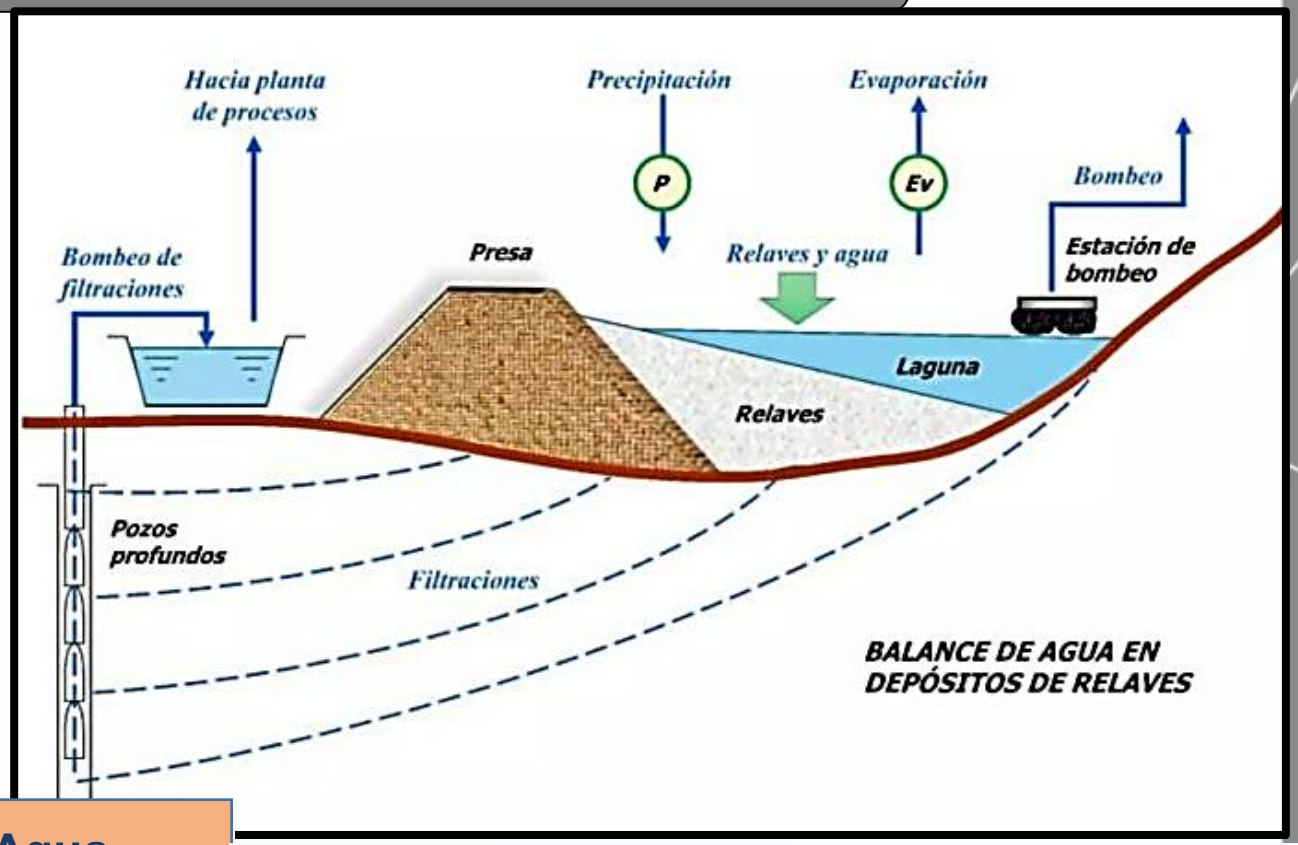
Drenajes subterráneos, estanques de recolección y pozos de bombeo

Recuperación de Agua

Sistemas de bombeo hacia la planta de procesamiento mineral

Gestión de Descargas

Derivaciones, estructuras de decantación, aliviaderos y tratamiento



Impactos Potenciales en Calidad del Agua

Vertimiento al Ambiente

Descargas no controladas de relaves por operación deficiente o fallas estructurales.

Contaminación Superficial

Impacto en aguas superficiales y suelos por manejo inadecuado de efluentes.

Contaminación Subterránea

Infiltración de contaminantes hacia acuíferos por deficiencias en contención.

Disolución de Minerales

Liberación de minerales solubles, reactivos de flotación, mercurio y otros tóxicos.

RelaveNet
A Community of Excellence

FUNDAMENTOS DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Monitoreo Ambiental

- Actividad sistemática de medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente, evaluando el estado de conservación de los recursos naturales y la calidad ambiental.

Monitoreo de Calidad del Agua

- Evaluación de recursos hídricos mediante diagnóstico del estado a través de indicadores físico-químicos, obtenidos por mediciones y observaciones sistemáticas.

Método

- Estrategia general para muestreo o recolección de datos

Protocolo

- Descripción detallada de pasos, materiales, horarios y periodicidad

Objetivos del Monitoreo

- Recopilar información en campo para evaluar estructuras y asegurar niveles requeridos de servicio, seguridad, productividad y desempeño durante la vida útil de la mina.

Criterio: Específico, Medibles, Alcanzables, Relevantes y Temporales

- ✓ **Verificar calidad del agua** en puntos de vertimiento autorizados
- ✓ **Verificar cumplimiento** de Estándares de Calidad Ambiental (ECA)
- ✓ **Cumplir frecuencia y parámetros** establecidos en IGA
- ✓ **Evaluar calidad** después de eventos críticos (derrames)
- ✓ **Orientar acciones** en puntos estratégicos de monitoreo
- ✓ **Garantizar protección** del medio ambiente





Hitos Regulatorios Clave en el Monitoreo de la Calidad del Agua en Minería (Chile y Perú)



RelaveNet
A Community of Excellence

FUNDAMENTOS DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Roles y Responsabilidades en el Monitoreo de Relaves

1. **Definir Roles y Responsabilidades**
   Establecer roles y responsabilidades claras para el personal
2. **Adquisición y Análisis de Datos**
   Recopilar y analizar datos de monitoreo
3. **Comunicación de Resultados**
   Informar resultados que excedan los rangos esperados
4. **Tomar Medidas**
   Implementar medidas si se exceden los criterios de desempeño
5. **Seguimiento de Actividades OMS**
   Monitorear y aprobar la ejecución de actividades OMS
6. **Responsabilidad del Director Ejecutivo**
   Asegurar la responsabilidad a nivel ejecutivo
7. **Responsabilidad de la Persona Responsable**
   Delegar tareas y supervisar el manejo de relaves
8. **Dirección Técnica del EoR**
   Proporcionar dirección técnica y verificar la seguridad
9. **Capacitación del Personal**
   Capacitar al personal en roles, responsabilidades y procedimientos

Estructura del Plan de Monitoreo de Calidad del Agua

Introducción
Proporciona contexto y antecedentes para el plan.

Objetivos
Define metas específicas a lograr a través del monitoreo.

Zona de Muestreo
Delimita el área geográfica para el muestreo.

Técnicas de Monitoreo
Describe los métodos y protocolos utilizados.

Ubicación de los Puntos de Monitoreo
Especifica las coordenadas y descripciones de los puntos de muestreo.

Codificación de los Puntos de Monitoreo
Asigna identificadores únicos a cada punto de muestreo.

Frecuencia de Monitoreo
Determina la periodicidad de las mediciones.

Parámetros de Monitoreo
Identifica las sustancias a analizar.

Estándares de Comparación
Establece los límites normativos para la evaluación.

Materiales y Equipos
Enumera los elementos necesarios para el monitoreo.

Recursos Humanos y Logísticos
Describe el personal y los medios de transporte.

Cronograma de Actividades
Proporciona un programa temporal para las actividades.

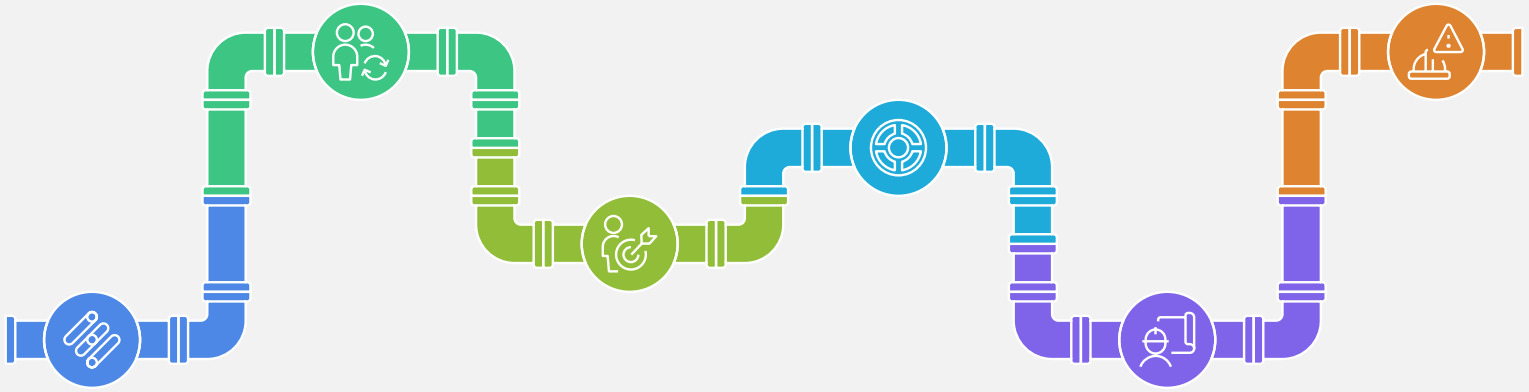




RelaveNet
A Community of Excellence

DISEÑO DE PROGRAMAS DE MONITOREO EN DEPÓSITOS DE RELAVES

Secuencia de Diseño del Programa de Monitoreo



01 Identificar Responsabilidades

Asignar roles directos e indirectos en el manejo de relaves

02 Adaptar a las Fases del Ciclo de Vida

Ajustar el programa de monitoreo a las necesidades específicas de cada fase

03 Basar en Objetivos de Desempeño

Alinear el monitoreo con los objetivos de desempeño del sitio

04 Integrar con el Diseño del Depósito

Incorporar el monitoreo en el diseño del depósito, especialmente bajo el Método Observacional

05 Planificar Antes de la Construcción

Iniciar la planificación del monitoreo antes de la fase de construcción

06 Vincular con el Plan de Gestión de Riesgos

Conectar el monitoreo con el plan de gestión de riesgos a través de un manual OMS

Tipos de Actividades de Monitoreo

Actividades de Monitoreo

- **Observaciones e Inspecciones en el Sitio**
  - Observaciones Diarias
  - Inspecciones de Seguridad Semanales/ Mensuales
  - Inspecciones Técnicas de Seguridad (DSI)
  - Revisiones de Seguridad de la Presa (DSR)

MONITOREO DE INSTRUMENTOS:

- Proporciona información no pueden detectarse por observación (ej. movimiento de aguas subterráneas, calidad de aguas).
- Permite monitorear con precisión y exactitud (ej. Asentamiento o movimiento de una presa de relaves).
- Se utiliza para el monitoreo continuo o de alta frecuencia (ej. monitoreo de aves para sistemas de disuasión).

RelaveNet
A Community of Excellence

DISEÑO DE PROGRAMAS DE MONITOREO EN DEPÓSITOS DE RELAVES

Parámetros de Monitoreo de Relaves Mineros



Características In Situ

Monitoreo de la densidad y compactación de los relaves

Características de la Planta de Procesamiento

Análisis del tamaño de partículas y contenido de sólidos

Perfiles de Temperatura

Medición de la temperatura en estructuras de contención

Caudales

Monitoreo del flujo de relaves y agua en tuberías

Calidad del Aire

Evaluación de la calidad del aire en el sitio y sus alrededores

Calidad del Agua

Análisis de la calidad del agua en diversas fuentes

Características Químicas

Evaluación de la composición química de los relaves

Características de Materiales de Construcción

Evaluación de la integridad de los materiales de construcción

Datos Meteorológicos

Recopilación de datos meteorológicos para el análisis

Niveles de Agua

Monitoreo de los niveles de agua en diferentes cuerpos de agua

Filtraciones

Medición de la velocidad y turbidez de las filtraciones

Proceso de Aseguramiento y Control de Calidad en el Monitoreo

Desarrollar Plan de Gestión de Calidad

Crear un plan para asegurar la calidad en el monitoreo

Implementar Actividades de QC

Usar técnicas operativas para cumplir con los requisitos de calidad

Seguir Protocolos de Muestreo

Adherirse a los protocolos para la recolección y preservación de muestras

Realizar Análisis en Laboratorio Acreditado

Asegurar que los análisis se realicen en un laboratorio certificado



Implementar Actividades de QA

Realizar actividades sistemáticas para cumplir con los requisitos de calidad

Calibrar Instrumentos

Asegurar la precisión de los instrumentos de monitoreo

Usar Controles de Calidad

Identificar errores en el proceso de monitoreo

Seguir Protocolos de Preservación de Muestras

Adherirse a los protocolos para la preservación y transporte de muestras

RelaveNet
A Community of Excellence

HERRAMIENTAS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Equipos para el Monitoreo de la Calidad del Agua

Equipos para mediciones *in situ

Medidor multiparámetro, GPS, correntómetro, turbidímetro, cronómetro y evaporímetro.

Equipos para toma de muestras

Botella tipo Niskin, bailer y batería de pozos.

Materiales auxiliares

Mapa cartográfico, tablero, libreta de campo, etiquetas de campo, cadena de custodia, soga, balde de plástico transparente, brazo telescópico muestreador, papel secante, cinta adhesiva, plumón indeleble, goteros de plástico, agua destilada, soluciones estándar de pH y conductividad eléctrica, bolsas Ziploc, frascos de polietileno, frascos de vidrio ámbar, frascos estériles microbiológicos, guantes descartables, pizeta, refrigerantes, reactivos para preservación de muestras (ej. H_2SO_4, HNO_3, NaOH), coolers grandes y pequeños.

Equipo de Protección Personal (EPP)

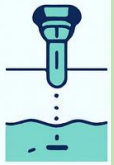
Botas de seguridad, casco, lentes, botas de jebe con punta de acero (musleras), chaleco salvavidas, impermeable, arnés, guantes.

Herramientas documentales

Check list de campo y registro de datos en campo.

Instrumentación Avanzada

Instrumentos geotécnicos y de movimiento:



- **Piezómetros**: Miden la presión del agua y niveles freáticos.
- **Acelerógrafos**: Para monitoreo sísmico.
- **Celdas de asentamiento y placas de corrimiento y nivelación**: Para medir movimientos o asentamientos.
- **Inclinómetros**: Para detectar deformaciones en el terreno.
- **Penetrómetros**: Para mecánica de suelos.
- **Geosintéticos inteligentes con tecnología de fibra óptica**: Para monitorear presas.

Monitoreo de características de relaves:



- **Instrumentos para densidad y grado de compactación in situ**.
- **Densímetro**: Para obtener la concentración de sólidos con alta precisión (requiere calibración frecuente).
- **Instrumentos en la planta de procesamiento**: Para tamaño de partículas y porcentaje de sólidos de relaves

Monitoreo de flujos y presiones



- **Instrumentos para medir caudales de relaves y aguas en tuberías, y presión interna.**
- **Weirs** (**vertederos**): Para medición de flujo, requiere un flujo lento y tranquilo. Pueden usarse para monitorear visualmente la claridad del flujo; cualquier opacidad indica materia particulada, como erosión interna. Pueden integrar instrumentos para medir temperatura, conductividad y pH.

Monitoreo remoto y geoespacial



- **Telemetría por ondas luminosas (LIDAR)**: Para generar mapas topográficos detallados.
- **Google Earth Engine:** Para el monitoreo de la calidad del agua en lagos de pozo y estanques de relaves a través de imágenes satelitales.

Monitoreo en linea



Para niveles de agua y flujo en puntos estratégicos, así como condiciones meteorológicas y parámetros de calidad del agua, permitiendo seguimientos en tiempo real.

RelaveNet
A Community of Excellence

HERRAMIENTAS PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

ANÁLISIS DE LABORATORIO EN RELAVES

- **Calidad del agua**: análisis de aguas intersticiales, filtraciones y escorrentía superficial.
- **Composición química y mineralógica**: identificación del potencial de **generación de ácido** y **lixiviación de metales**.
- **Materiales de construcción**: caracterización de los insumos usados en presas y estructuras de contención.
- **Pruebas de consolidación**: determinan la **compresibilidad** y la **tasa de asentamiento** bajo carga; evalúan cambios de volumen en el tiempo.
- **Ensayos geotécnicos**: pruebas de **permeabilidad** y **resistencia al cortante**.
- **Monitoreo periódico**: se recomienda realizar ensayos de **granulometría y consolidación** en lamas de distintas zonas y profundidades.

MODELADO Y SOFTWARE

MODELOS DE BALANCE HÍDRICO (WBM)

- Básicos
- Predictívos

Escenarios climáticos (húmedo/seco)

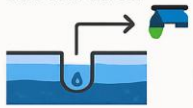
Simulación Monte Carlo

GoldSim

MODELOS HÍDROGEOLÓGICOS Y GEOQUÍMICOS

Seep/W (GeoStudio)

Flujos de agua subterranea



Modelación de acuiferos

Interaccions químicas y lixiviación

Integración combinanía + mecánica de suelos + hidrogeologia

VISUALIZACIÓN Y GESTIÓN DE DATI

Google Earth Engine

Monitoreo remoto de calidad del agua

ANA Viewer (Brasil)

Descarga de caudales y descargas autorizadas

Bases de datos amigables

Control de ensayos y monitoreo periódico

- Mejorarr la planificación hidrica
- Anticipar riesgos estructurales y ambientales
- Optimizar la toma de decisiones en minería

RelaveNet
A Community of Excellence

OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y MONITOREO (OMS)

INTEGRACIÓN DE OMS EN EL CICLO DE VIDA

Manual OMS: práctico, específico y actualizado.
Actividades deben: planificarse, diseñarse, documentarse, implementarse, vincularse con decisiones y revisarse periódicamente.
AMC (Asociación Minera de Canadá) recomienda aplicar Guía de Relaves + Guía OMS.

GESTIÓN DEL CAMBIO

Cambios organizacionales, de personal, procesos o tecnologías.
Manual OMS debe actualizarse regularmente.
Un manual desactualizado = riesgos elevados.

CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

Todo el personal debe conocer su propósito, rol y responsabilidades.
Capacitación en aspectos generales (política, metas) y específicos (técnicos, comunicación, gestión).
Estrategia de implementación debe incluir formación en manuales nuevos o revisados.

ENFOQUE BASADO EN RIESGO Y CONTROLES CRÍTICOS

Controles de riesgo: previenen eventos no deseados.
Controles críticos: fundamentales para mitigar consecuencias graves.
TARP (Trigger Action Response Plan): niveles de respuesta predefinidos y acciones claras.
Monitoreo de instrumentos + observaciones de campo = datos integrales para decisiones seguras.

IMPORTANCIA DE LOS MANUALES OMS

Un buen manual OMS:
Proporciona marco de referencia.
Comunica prácticas a todos los actores (propietarios, empleados, contratistas, consultores).
Base para medir desempeño y tomar decisiones.
Define roles, responsabilidades y autoridad.
Puede organizarse en módulos temáticos.

Beneficio global: El OMS fortalece la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad en la gestión de relaves.

RelaveNet
A Community of Excellence

Módulo 3 – Tema 4 – Monitoreo de la calidad del agua y herramientas para su implementación

- **Ing. Danny Flores Cruz**

RelaveNet
A Community of Excellence