



Osinergmin

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería



Gestión de Seguridad de Depósitos de relave bajo enfoque de Riesgo

M. Eng. Renzo Ayala

Ing. Geotécnico Sénior

Anddes Asociados SAC



Introducción

- Aplicación de enfoque de riesgo
 - Aumentar confianza en la población
 - Aumentar confianza en inversionistas
 - Definir niveles de prioridad de riesgos a reducir
 - Cuantificar riesgos en toda la cadena (directa e indirecta)
 - Minimizar los imprevistos
 - Garantizar operación segura
-



Introducción - Ancash 03/2018





Introducción - Arequipa 2015





Introducción - Falla Depósito Mount Polley, BC, Canadá (2014)





Introducción - Falla Depósito Samarco, Brasil (2015)





Estadísticas Fallas Presas de Relave

- ICOLD, 2001: 3500 TSF en el mundo
 - 1970-2001, 2 a 5 fallas de TSF anualmente
 - Ratio de falla anual: $1/700$ – $1/750$
 - ¿Cuál es la cifra oficial de Perú?
 - ¿Cuál es la cifra actualizada de fallas de depósitos en Perú?
-



Estadísticas Fallas Presas de Relave

[HOME](#) [WISE Uranium Project](#) > [Tailings Dam Safety](#) >

Chronology of major tailings dam failures

(from 1960)

(last updated 29 Aug 2018)

Note: Due to limited availability of data, this compilation is in no way complete

| Date | Location | Parent company | Ore type | Type of Incident | Release | Impacts |
|---------------|---|---|--------------|---|--|--|
| 2018, June 4 | Cieneguita mine, Urique, Chihuahua, Mexico | Minera Rio Tinto (Cluster Minero de Chihuahua A.C.) | gold, silver | tailings dam failure | 249,000 m ³ of tailings and 190,000 m ³ of embankment material | Dam failure results in tailings release travelling 29 km downstream; most of the tailings have been deposited along the course of the Cañitas River. The Federal Attorney's Office for Environmental Protection (PROFEPA) says that the tailings don't contain cyanide or any heavy metals. Three workers were killed, two wounded, and four are reported missing. |
| 2018, Mar. 9 | Cadia, New South Wales, Australia | Newcrest Mining Ltd | gold, copper | tailings dam failure, one day after two earthquakes of magnitude 2.7 were recorded in the area | ? | Embankment failure results in "limited breakthrough" of tailings material from the northern to the southern tailings dam. The breakthrough has been contained within the southern tailings dam. |
| 2018, Mar. 3 | Huancapati (Huancapeti), Recuay province, Ancash region, Peru | Compañía Minera Lincuna SA (Grupo Picasso) | | collapse of embankment of tailings dam No. 2 after heavy rain | 80,000 m ³ of tailings | the incident has contaminated crops, the Sipchoo creek and the Santa river |
| 2018, Feb. 17 | Barcarena, Pará, Brazil | Hydro Aluminio / Norsk Hydro ASA | bauxite | overflow of red mud basin after heavy rain <i>[the company, however, maintains that no overflow has occurred at all!]</i> | ? | Highly alkaline and metal-laden liquids flooded the surrounding residential areas, rendering the drinking water supply in the area unusable. > View/Download information provided by Instituto Evandro Chagas (IEC): Mar. 6, 2018 · Mar. 29, 2018 (in Portuguese) On Mar. 12, 2018, local environmental activist Paulo Nascimento was shot dead in front of his house. |



Estadísticas Fallas Presas de Relave Perú

| | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------|------|--|--|--|
| 2010, Jun. 25 | Huancavelica, Peru | Unidad Minera Caudalosa Chica | ? | tailings dam failure | 21,420 m ³ of tailings | contamination of rio Escalera and rio Opamayo 110 km downstream |
| 1996, Nov. 12 | Amatista, Nazca, Peru | ? | ? | liquefaction failure of upstream-type tailings dam during earthquake | more than 300,000 m ³ of tailings | flow runout of about 600 meters, spill into river, croplands contaminated |
| 1993 | Marsa, Peru | Marsa Mining Corp. | gold | dam failure from overtopping | ? | 6 people killed |
| 1962 | Almiranca, Peru | Quiruvilca | ? | dam failure (liquefaction) during earthquake and after heavy rainfall | ? | damage to agriculture and infrastructure |



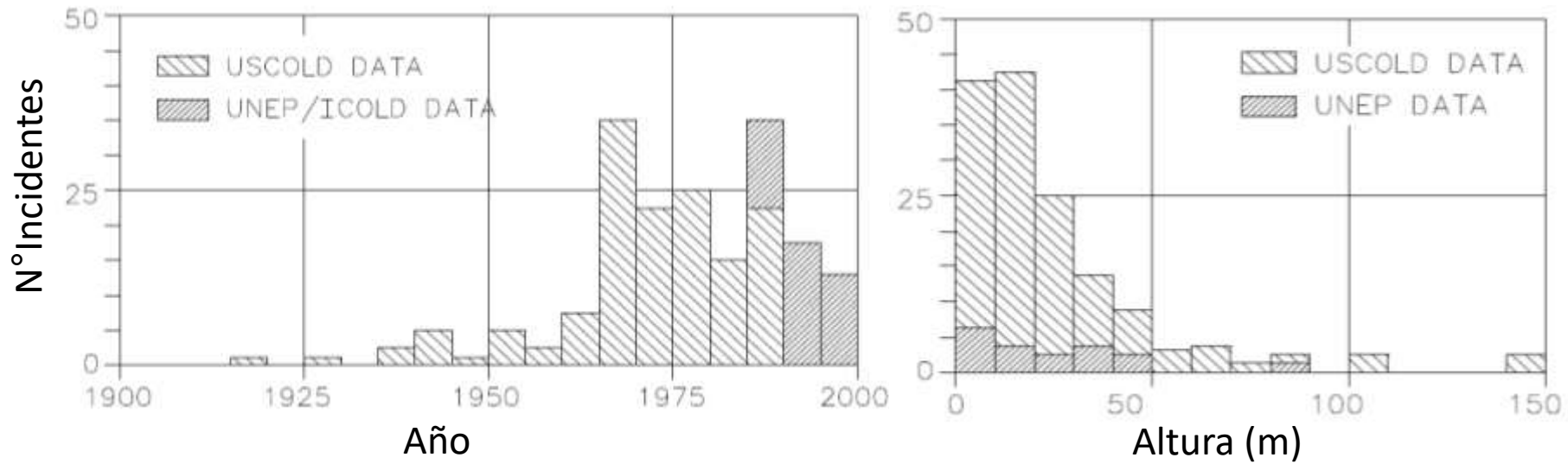
Estadísticas Fallas Presas de Relave Perú

| Depósito | Altura (m) | Año | Causa | Consecuencias | Estado del Depósito |
|-------------|------------|------|-------|--|---------------------|
| Casapalca | 60 | 1952 | Sismo | Pérdidas humanas y contaminación río Rímac | Abandonado |
| Milpo | 60 | 1956 | Sismo | Pérdidas humanas e interrupción carretera Pasco-Huánuco | Abandonado |
| Quiruvilca | 40 | 1962 | Sismo | Daño agricultura e infraestructura | Abandonado |
| Yauliyacu | 80 | 1968 | Sismo | Interrupción Carretera Central y contaminación río Rímac | Se desconoce |
| Recuperada | NP | 1969 | NP | Daño agricultura | Abandonado |
| Quiruvilca | 40 | 1970 | Sismo | Contaminación río San Felipe | Abandonado |
| Atacocha | NP | 1971 | Sismo | Contaminación río Huallapa y daño infraestructura vial | Abandonado |
| Alianza | 20 | 1971 | Sismo | 3 fallecidos, destrucción viviendas e interrupción carretera | Abandonado |
| San Nicolás | NP | 1980 | NP | Contaminación río Tingo y daño agricultura | Abandonado |

INGEMMET (1982)

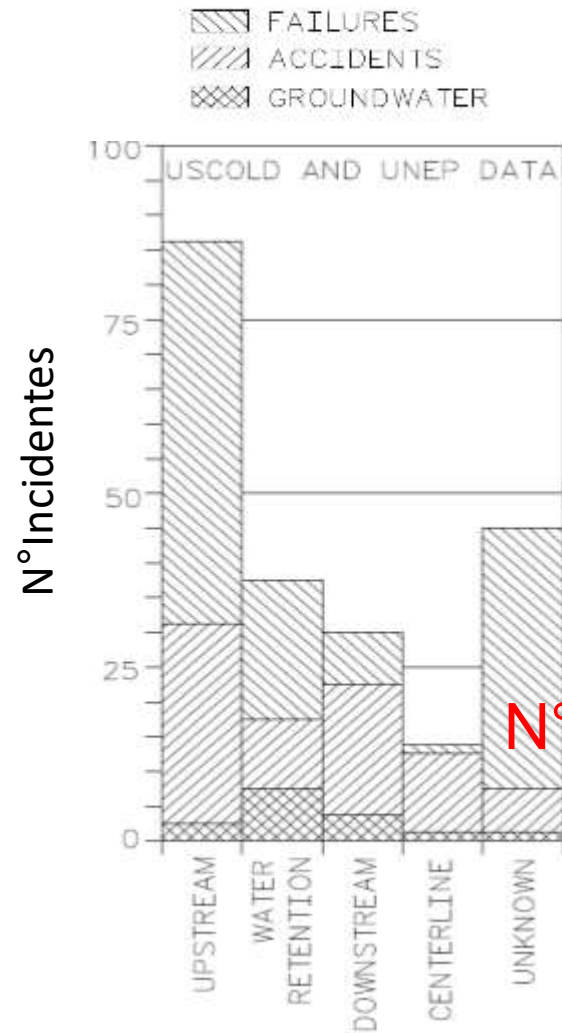


Estadísticas Fallas Presas de Relave-ICOLD 2001

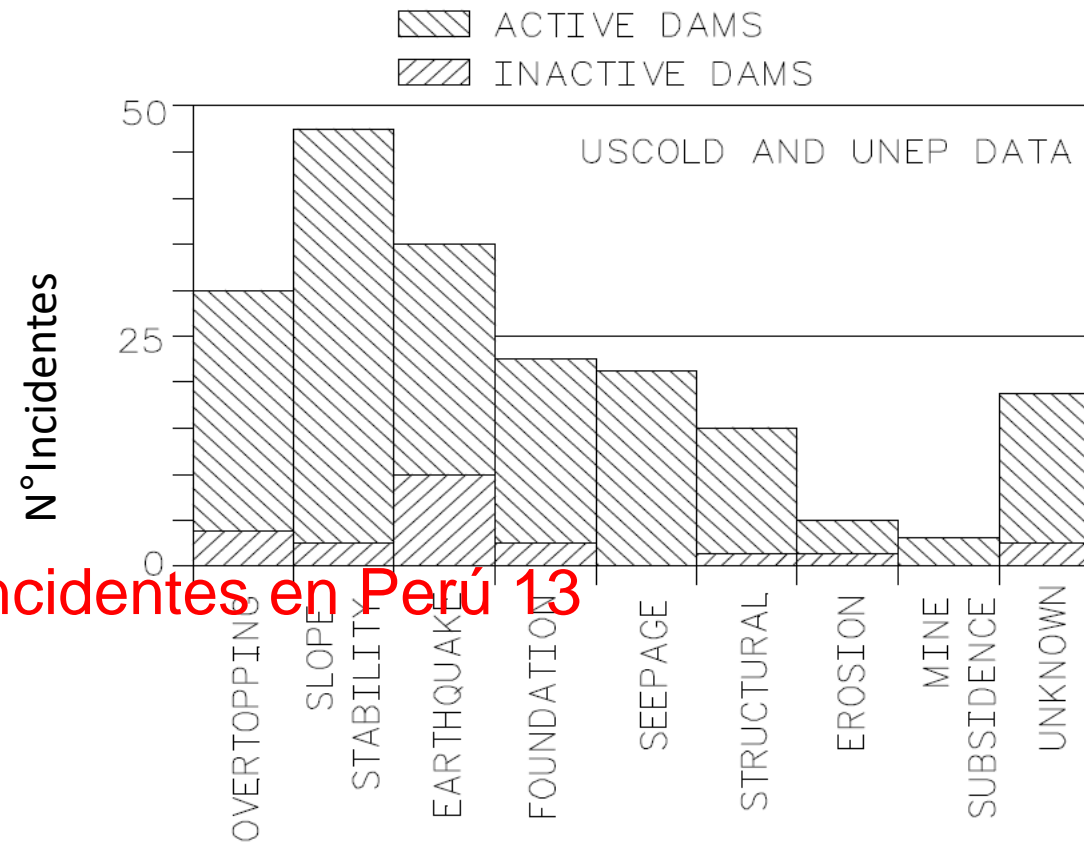




Estadísticas Fallas Presas de Relave-ICOLD 2001



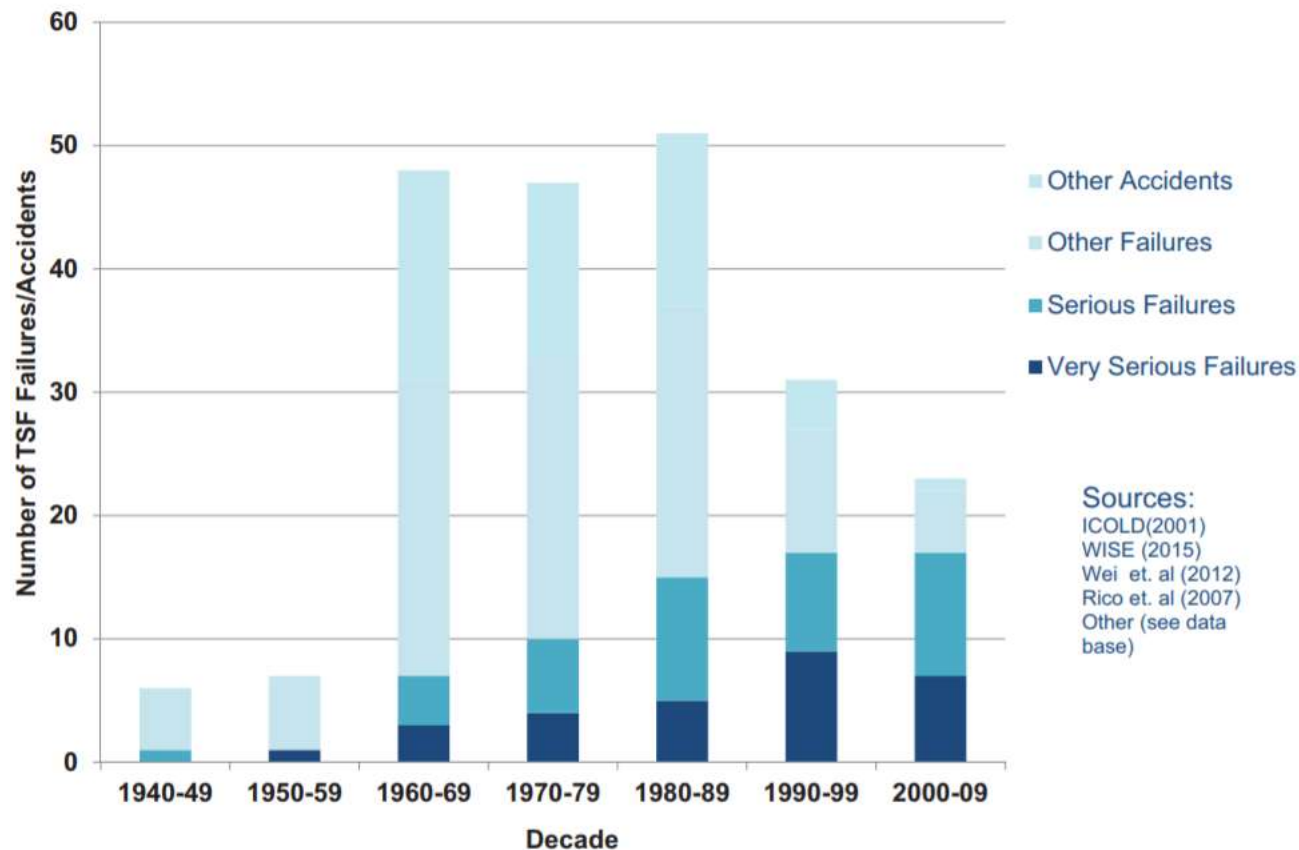
N° Incidentes en Perú 13





Estadísticas Fallas Presas de Relave-Ref. recientes

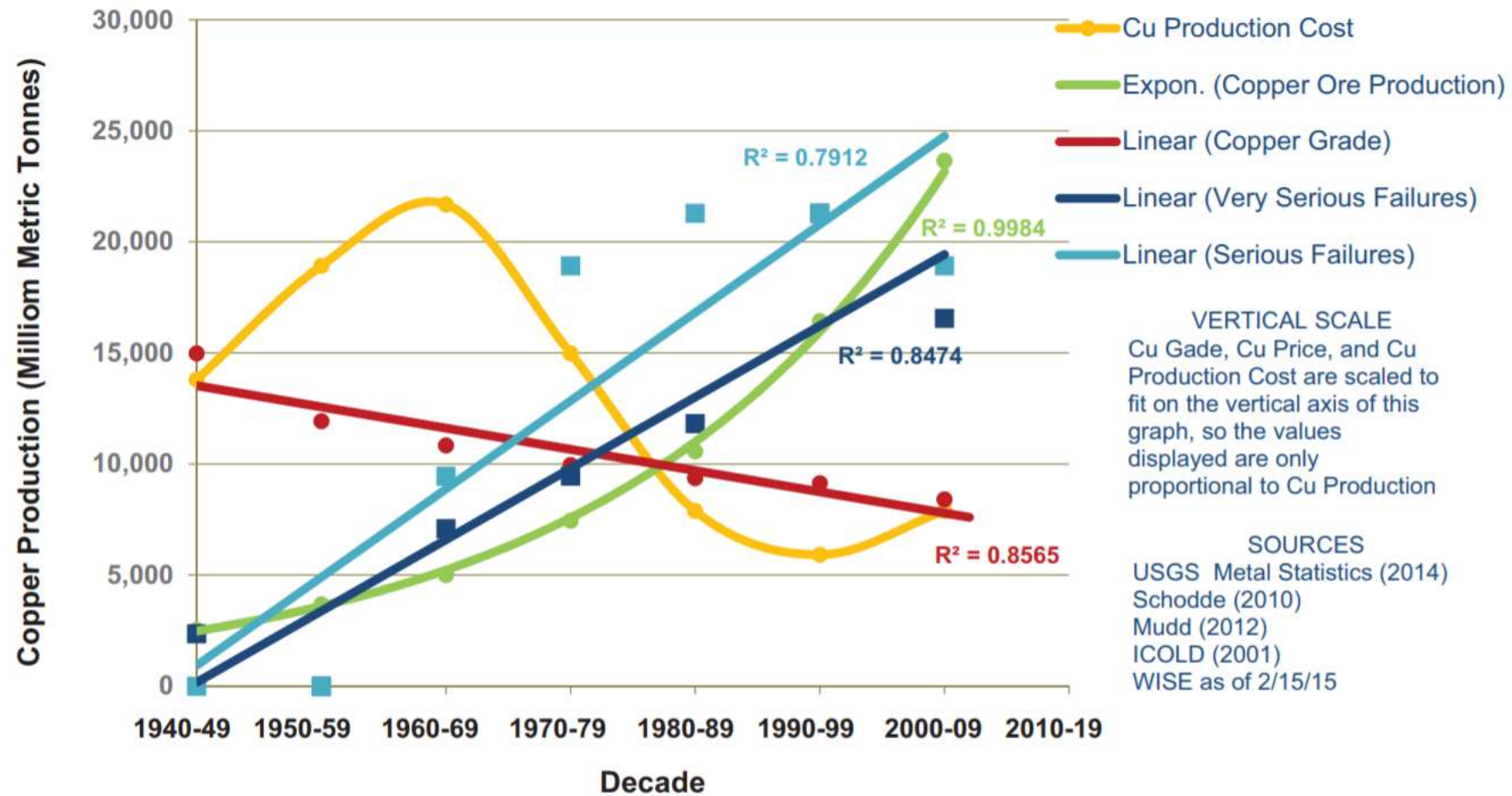
Figure 2.1 Increasing Severity of TSF Failures Globally 1940-2010



Bowker y
Chambers
(2015)



Estadísticas Fallas Presas de Relave-Ref. recientes



Bowker y Chambers (2015)



Herramientas de Análisis de riesgo

- Evaluación de Riesgo por Portafolio (Bowles et al. 1998).
 - Enfoque de gestión de riesgo empresarial (LePoudre et al., 2016)
 - Manejo efectivo del riesgo (ANCOLD, 2013)
-

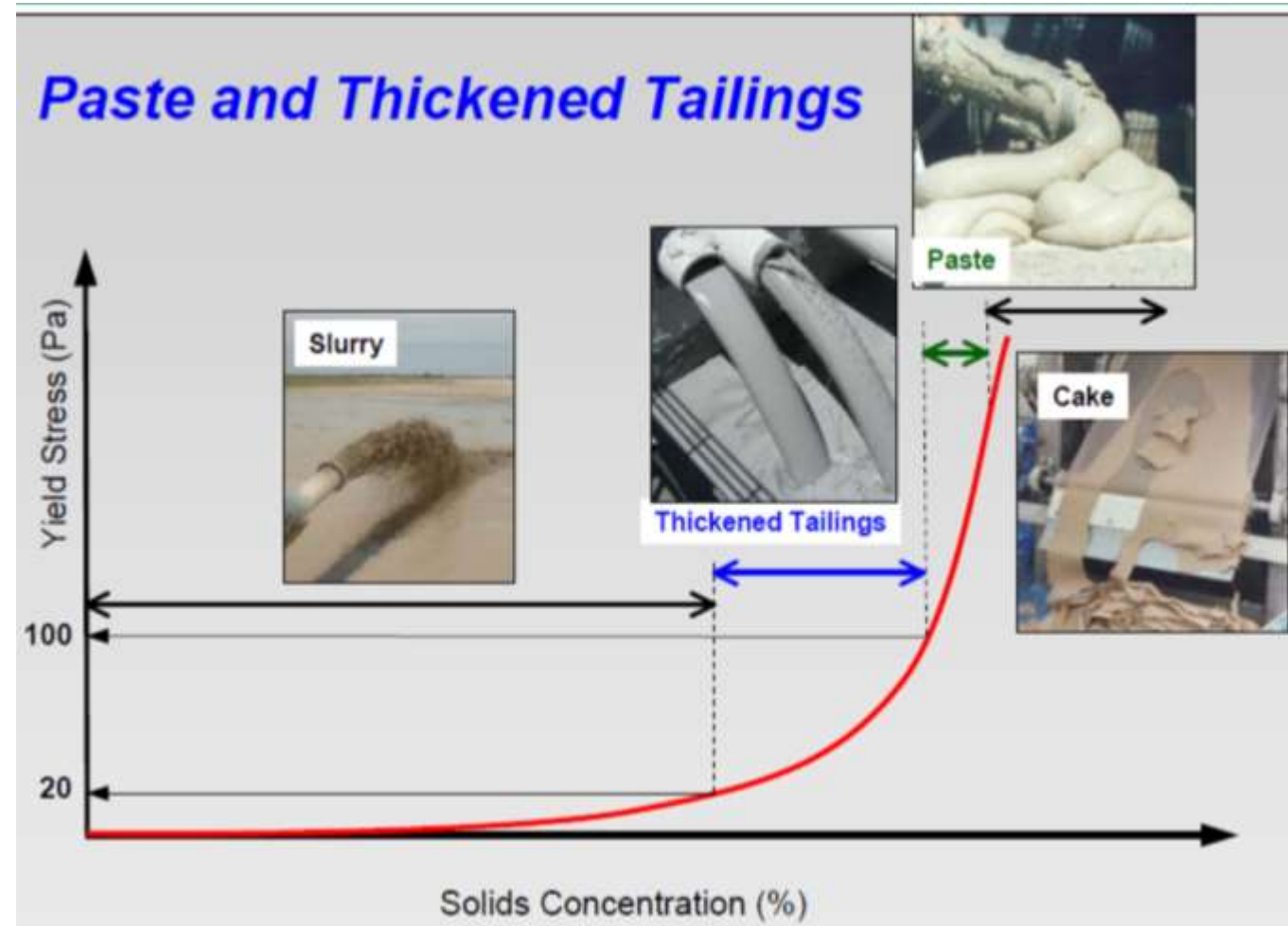


Herramientas de Análisis de riesgo - Puntos en Común

- Claridad en el concepto del uso y diseño del depósito
 - Integración de todos los Stakeholders.
 - Documento vivo de análisis de riesgo durante todas las etapas del proyecto.
 - El propietario debe implementar un Sistema de Manejo de Relaves.
 - Analizar efectos cadena.
-



Herramientas de Análisis de riesgo - Concepto





Herramientas de Análisis de riesgo - Concepto





Herramientas de Análisis de riesgo - Stakeholders

Communities of Interest (COI) include all individuals and groups who have an interest in, or believe they may be affected by, decisions respecting the management of operations. They include, but are not restricted to:

- employees;
- Aboriginal or Indigenous peoples;
- mining community members;
- suppliers;
- neighbours;
- customers;
- contractors;
- environmental organizations and other non-governmental organizations;
- governments;
- the financial community; and
- shareholders.

Definition from MAC's TSM *Aboriginal and Community Outreach Protocol*

MAC (2017)



Herramientas de Análisis de riesgo - Análisis de riesgo

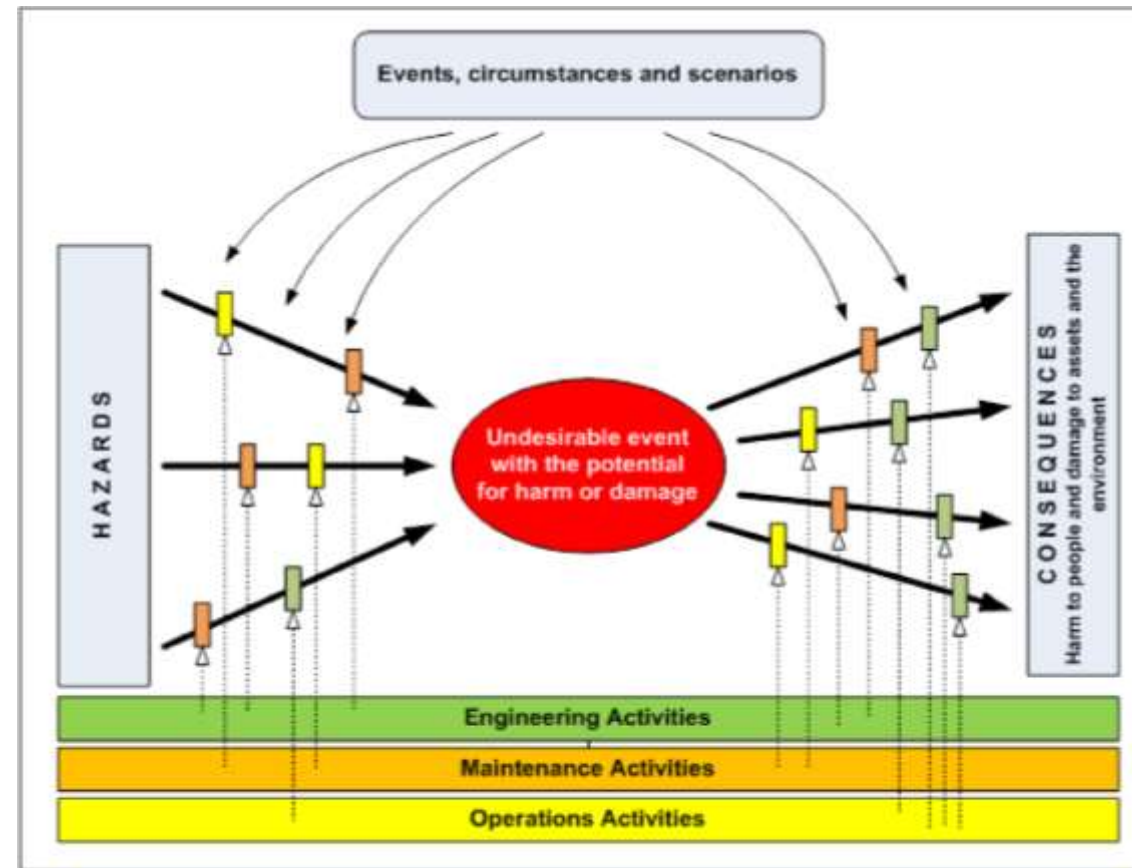
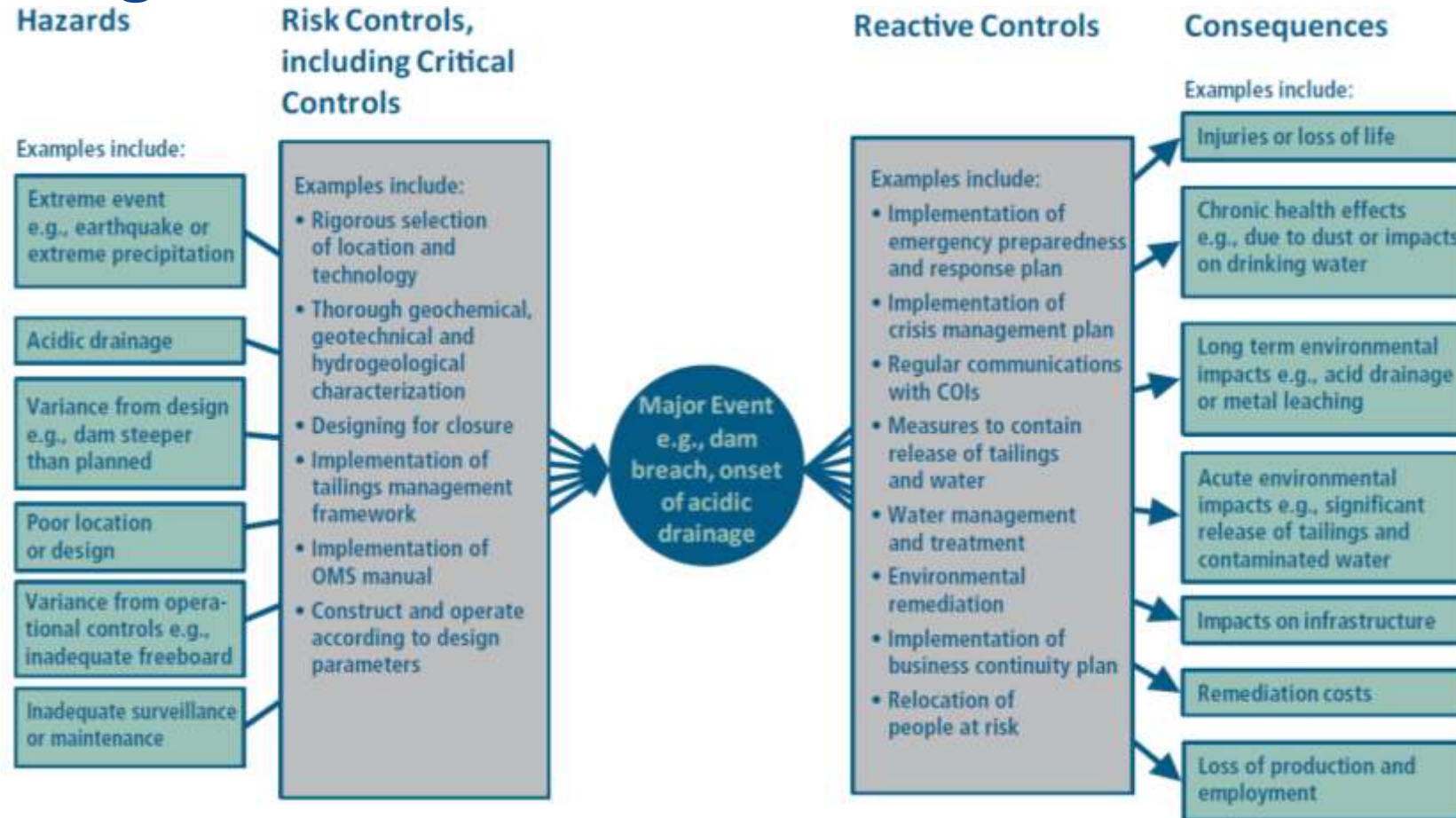


Figure 5. "Bow Tie"
Risk Management Model (from ICOLD)



Herramientas de Análisis de riesgo - Análisis de riesgo





Herramientas de Análisis de riesgo - Análisis de riesgo

| GLOBAL FAILURE MODES | ELEMENT AND/OR ELEMENT FUNCTION | MOST BASIC FUNCTIONAL FAILURE CHARACTERISTICS | External Hazards | | | Internal Hazards (Design, Construction, Maintenance, Operation) | | | | |
|--|---------------------------------|--|---|---------|-----------------------|---|-------------------|-----------|------------------------|---|
| | | | Meteorological | Seismic | Reservoir Environment | Water barrier | Hydraulic struct. | Mech/elec | Infrastructure & Plans | |
| DAM COLLAPSE BY OVERTOPPING (erosion or overturning) | Water elevation too high | Inadequate installed discharge capacity | X | | | | | | | |
| | | Inadequate available discharge capacity | Inadequate reservoir operation (rules not followed) | X | X | X | X | X | X | X |
| | | | Random functional failure on demand | X | X | X | X | X | X | X |
| | | | Discharge capability not maintained or retained | X | X | X | X | X | X | X |
| | | Inadequate freeboard | Excessive elevation due to landslide or U/S dam | X | X | X | X | | | X |
| | | | Wind-wave dissipation inadequate | X | X | X | X | | | X |
| | Management System Failure | Safeguards fail to provide timely detection and correction | Operation, maintenance and surveillance fail to detect/prevent hydraulic adequacy | X | X | X | X | X | X | X |
| | | | Operation, maintenance and surveillance fail to detect poor dam performance | X | X | X | X | X | X | X |

CDA (2016)



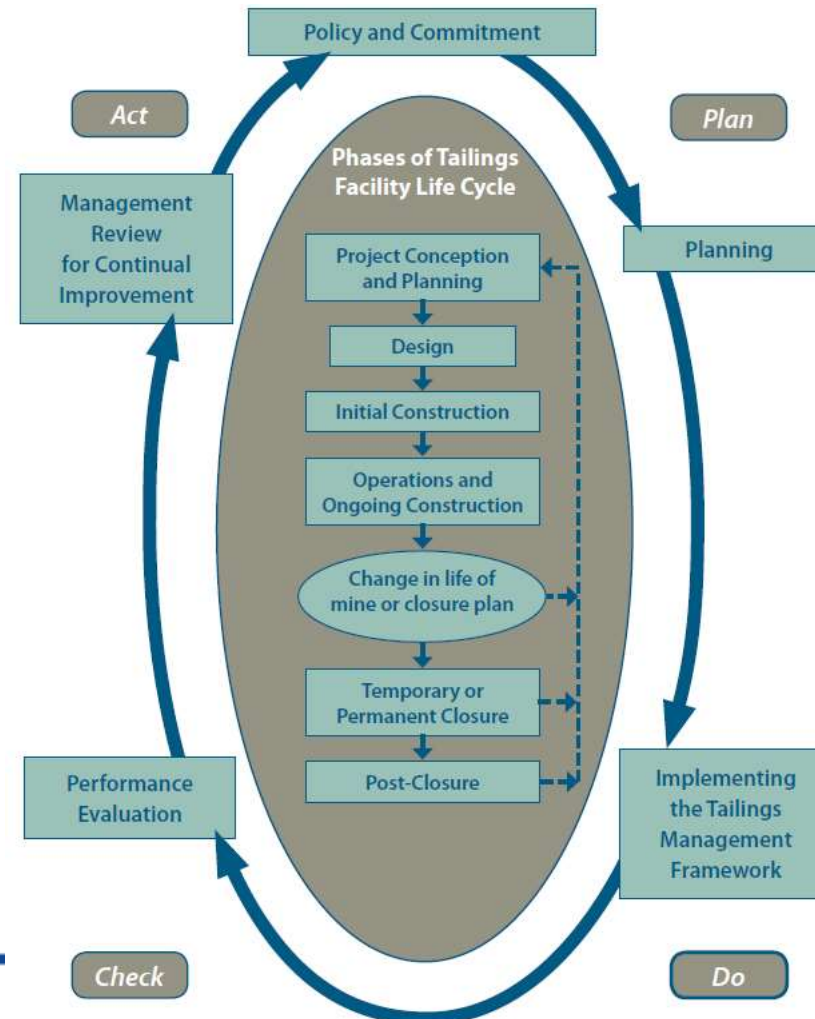
Herramientas de Análisis de riesgo - Análisis de riesgo

| GLOBAL FAILURE MODES | ELEMENT AND/OR ELEMENT FUNCTION | MOST BASIC FUNCTIONAL FAILURE CHARACTERISTICS | External Hazards | | | Internal Hazards (Design, Construction, Maintenance, Operation) | | | | |
|--|---------------------------------|---|---|---------|-----------------------|---|-------------------|-----------|------------------------|---|
| | | | Meteorological | Seismic | Reservoir Environment | Water barrier | Hydraulic struct. | Mech/elec | Infrastructure & Plans | |
| DAM COLLAPSE BY LOSS OF STRENGTH (External or internal structural failure and weakening) | Management System Failure | Safeguards fail to provide timely detection and correction | X | X | X | X | X | X | X | |
| | | Operation, maintenance and surveillance fail to detect/prevent hydraulic adequacy | X | X | X | X | X | X | X | |
| | Crest elevation too low | Stability under applied loads | Mass movement (external stability:- displacement, tilting, seismic resistance) | X | X | X | X | X | X | X |
| | | | Loss of support (foundation or abutment failure) | X | X | X | X | X | X | X |
| | | Watertightness | Seepage around interfaces (abutments, foundation, water stops) | X | X | X | X | X | X | X |
| | | | Through dam seepage control failure (filters, drains, pumps) | X | X | X | X | X | X | X |
| | | Durability/cracking | Structural weakening (internal erosion, AAR, crushing, gradual strength loss) | X | X | X | X | X | | X |
| | | | Instantaneous change of state (static liquefaction, hydraulic fracture, seismic cracking) | X | X | X | X | X | X | X |

CDA (2016)



Herramientas de Análisis de riesgo - Sistema de Manejo de Relave



MAC (2017)



Herramientas de Análisis de riesgo - Efecto cadena de riesgos indirectos

Físico

2 estructuras son físicamente interdependientes si el material de una depende de la otra.

Geográfico

Infraestructura geográficamente interdependiente si un evento ambiental puede crear cambios en ambas

Lógica

Infraestructura geográficamente interdependiente si el estado de una depende del estado de otra vía que no esté conectada física, cibernética o geográficamente.

Cibernético

Una infraestructura tiene un dependencia cibernética si su estado de control depende de transmisión de infraestructura de información.

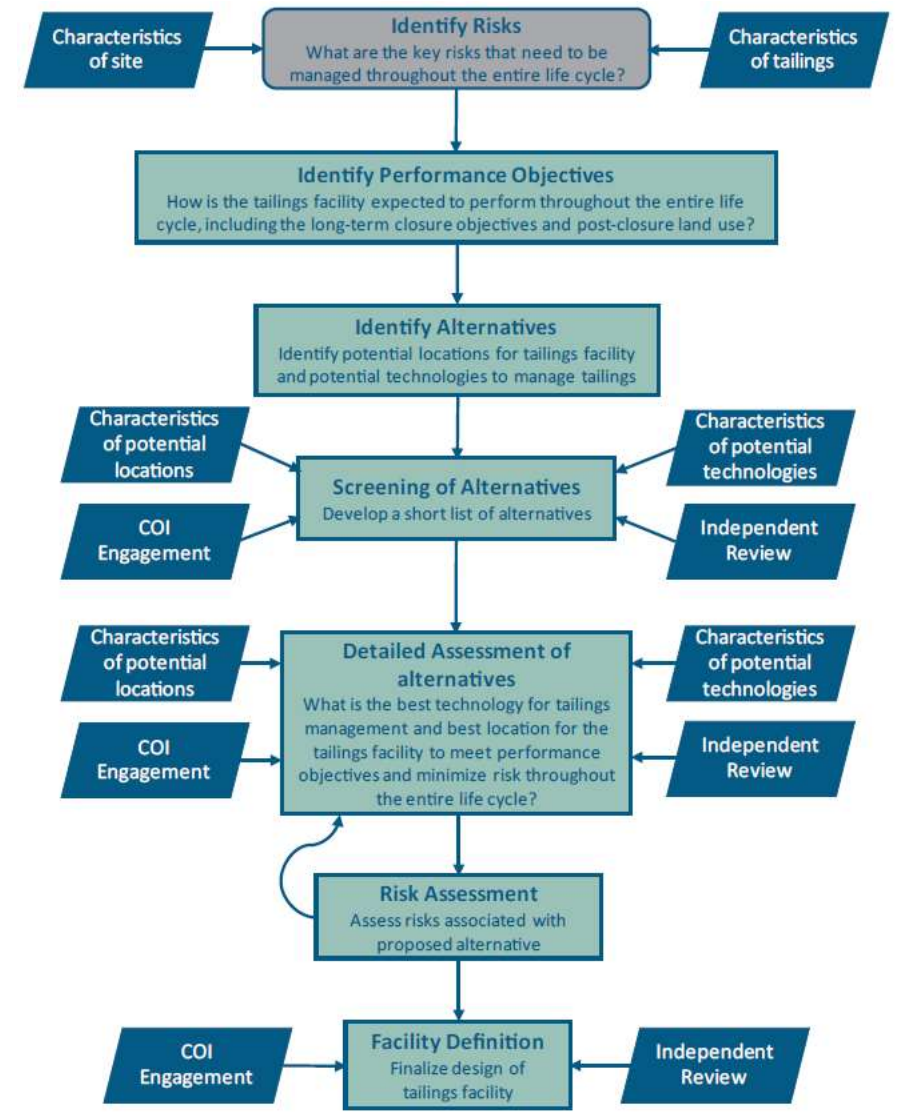
Adaptado de LePoudre et. al (2016)



Herramientas de manejo de riesgo durante diseño, construcción y operación

- Implementación del BAP (best available practice) y BAT (best available technology).
- Conocer concepto de estructura para plantear alternativas (trade off).
- Aplicar análisis mediante aplicación de la herramienta Multiple Accounts Analysis (MAC, 2017).
- Implementar un comité de revisión independiente (ITRB).
- Determinar el EoR.

MAC
(2017)





Herramientas de manejo de riesgo durante diseño, construcción y operación

- Determinar los responsables del riesgo por parte del propietario.
 - Ejecución del diseño con base a responder y reducir los riesgos identificados.
 - Generar niveles de alerta de operación.
 - Generar manual de operaciones.
 - Ejecución de construcción.
 - Inicio de monitoreo.
-



Herramientas de manejo de riesgo - CDA 2014

| Clasificación de la presa | Población en riesgo | Pérdidas de vida | Valores ambientales y culturales | Infraestructura y económica |
|---------------------------|---------------------|------------------|--|---|
| Baja | Ninguna | 0 | Mínimas pérdidas de corto plazo. Ninguna pérdida de largo plazo. | Bajas pérdidas económicas. El área contiene limitada infraestructura o servicios. |
| Significativa | Solo temporal | No especificado | Pérdida no significativa o deterioro del hábitat silvestre o acuático. Sólo pérdida marginal de hábitat. Altamente posible la restauración o compensación. | Pérdidas de la estructura recreacional, áreas de trabajo estacional, o rutas de transporte poco usadas. |
| Alta | Permanente | Menor a 10 | Pérdida significativa o deterioro importante del hábitat silvestre o acuático. Altamente posible la restauración o compensación. | Pérdidas económicas altas de la infraestructura, transporte público, e infraestructura comercial. |
| Muy Alta | Permanente | Menor a 100 | Pérdida significativa o deterioro crítico del hábitat silvestre o acuático. Restauración o compensación posible pero no práctica. | Pérdidas económicas muy altas que afectan importantes infraestructuras y servicios (autopistas, infraestructura industrial, infraestructura de almacenamiento de sustancias peligrosas). |
| Extrema | Permanente | Mas de 100 | Gran pérdida y deterioro crítico del hábitat silvestre o acuático. Restauración o compensación imposible. | Extremas pérdidas económicas que afectan infraestructuras y/o servicios críticas (hospitales, grandes complejos industriales, grandes instalaciones de almacenamientos de sustancias peligrosas). |



Herramientas de manejo de riesgo - ICOLD 2011

Table 1.1 – Potential Hazard Classification (PHC).

| Component | Potential Hazard Classification (PHC) | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | Low – (I) | Medium - (II) | High - (III) |
| $H^2 \cdot \sqrt{V}$ parameter | $H^2 \cdot \sqrt{V} < 20$ | $20 < H^2 \cdot \sqrt{V} < 200$ | $H^2 \cdot \sqrt{V} \geq 200$ |
| Life Safety Risk (number of lives) | ~ 0 | < 10 | ≥ 10 |
| Economic Risk | low | moderate | high or extreme |
| Environment Risk | low or moderate | high | extreme |
| Social Disruption | low (rural area) | regional | national |

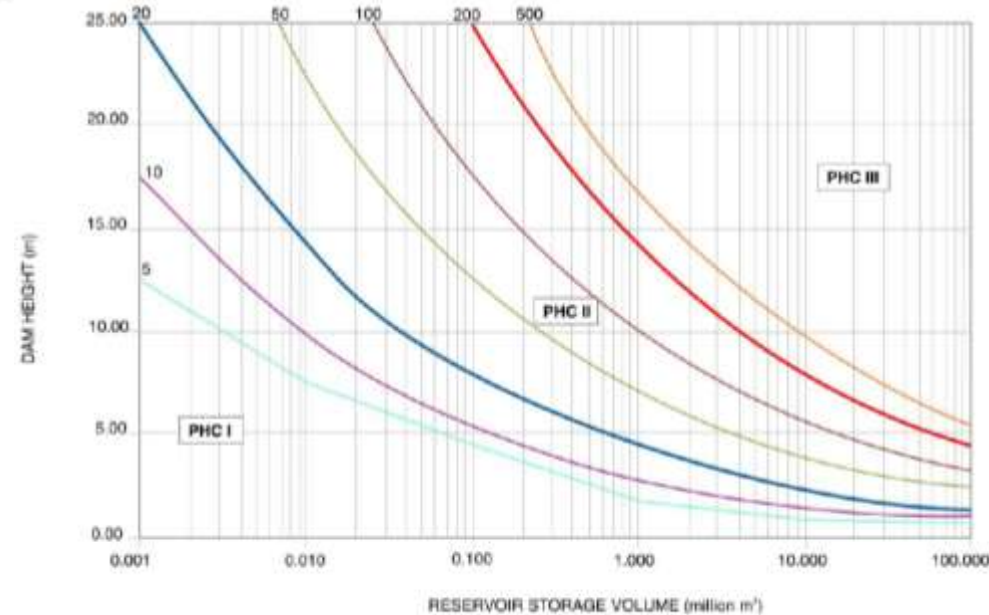


Fig. 1.1 – Relationship $H^2 \cdot \sqrt{V}$ for small dams



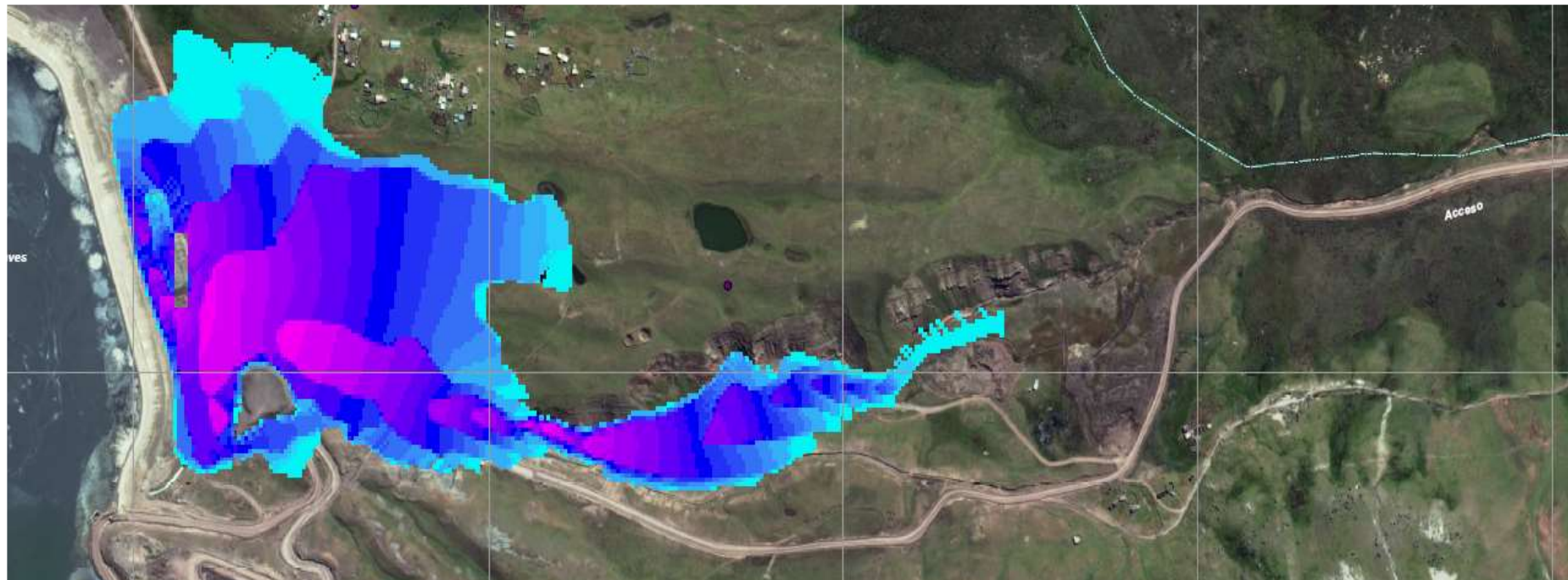
Herramientas de manejo de riesgo - ANCOLD 2012

| DAMAGE TYPE | MINOR | MEDIUM | MAJOR | CATASTROPHIC |
|--|--|---|---|--|
| Infrastructure (dam, houses, commerce, farms, community) | <\$10M | \$10M-\$100M | \$100M-\$1B | >\$1B |
| Business importance | Some restrictions | Significant impacts | Severe to crippling | Business dissolution, bankruptcy |
| Public health | <100 people affected | 100-1000 people affected | <1000 people affected for more than one month | >10,000 people affected for over one year |
| Social dislocation | <100 person or <20 business months | 100-1000 person months or 20-2000 business months | >1000 person months or >200 business months | >10,000 person months or numerous business failures |
| Impact Area | <1km ² | <5km ² | <20km ² | >20km ² |
| Impact Duration | <1 (wet) year | <5 years | <20 years | >20 years |
| Impact on natural environment | Damage limited to items of low conservation value (e.g. degraded or cleared land, ephemeral streams, non-endangered flora and fauna). Remediation possible. | Significant effects on rural land and local flora & fauna. Limited effects on: A. Item(s) of local & state natural heritage. B. Native flora and fauna within forestry, aquatic and conservation reserves, or recognised | Extensive rural effects. Significant effects on river system and areas A & B. Limited effects on: C. Item(s) of National or World natural heritage. D. Native flora and fauna within national parks, recognised wilderness areas. | Extensively affects areas A & B. Significantly affects areas C & D. Remediation involves significantly altered ecosystems. |



Herramientas de manejo de riesgo - Definición

Consecuencia de Falla de Presa



Profundidad del Relave (m)

| | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0.010 - 0.300 | 1.601 - 2.000 | 2.901 - 3.350 | 4.151 - 4.600 | 5.601 - 6.150 |
| 0.301 - 0.500 | 2.001 - 2.500 | 3.351 - 3.750 | 4.601 - 5.100 | 6.151 - 6.650 |
| 0.501 - 1.600 | 2.501 - 2.900 | 3.751 - 4.150 | 5.101 - 5.600 | 6.651 - 7.150 |



Herramientas de manejo de riesgo - CDA 2014 y Ancold 2012, parámetros de diseño

| Clasificación | Presas almacenamiento de agua (CDA, 2013) Presas mineras (CDA, 2014) | |
|---------------|---|---|
| | Avenida | Terremoto |
| | Baja | 1/100 |
| Significativa | Entre 1/100 y 1/1000 | Entre 1/100 y 1/1000 |
| Alta | 1/3 del rango entre 1/1000 y PMF | 1/2475 |
| Muy Alta | 2/3 del rango entre 1/1000 y PMF | 1/2 del rango entre 1/2475 y 1/10 000 o MCE |
| Extrema | PMF | 1/10 000 o MCE |

| Clasificación | Presas mineras (ANCOLD, 2012) | | |
|---------------|-------------------------------|-----------|---------|
| | Avenida | Terremoto | |
| | | OBE | MDE |
| Baja | 1/100 | 1/50 | 1/100 |
| Significativa | 1/1000 | 1/100 | 1/1000 |
| Alta | 1/10000 | 1/1000 | 1/10000 |
| Extrema | PMF | 1/1000 | 1/10000 |



Herramientas de manejo de riesgo - CDA 2014 y Ancold 2012, Factores de Seguridad

| Loading Condition | Minimum Factor of Safety | Slope |
|--|--|---------------------------------|
| During or at end of construction | > 1.3 depending on risk assessment during construction | Typically downstream |
| Long term (steady state seepage, normal reservoir level) | 1.5 | Downstream |
| Full or partial rapid drawdown | 1.2 to 1.3 | Upstream slope where applicable |

| Loading Condition | Minimum Factor of Safety |
|-------------------|--------------------------|
| Pseudo-static | 1.0 |
| Post-earthquake | 1.2 |

| Loading Condition (Note 1) | Recommended Minimum for Tailings Dams | Shear strength to be used for evaluation |
|---|---------------------------------------|--|
| Long-term drained | 1.5 | Effective Strength |
| Short-term undrained (potential loss of containment) | 1.5 | Consolidated Undrained Strength |
| Short-term undrained (no potential loss of containment) | 1.3 | Consolidated Undrained Strength |
| Post-seismic | 1.0 -1.2 (Note 2) | Post Seismic Shear Strength (Note 3) |

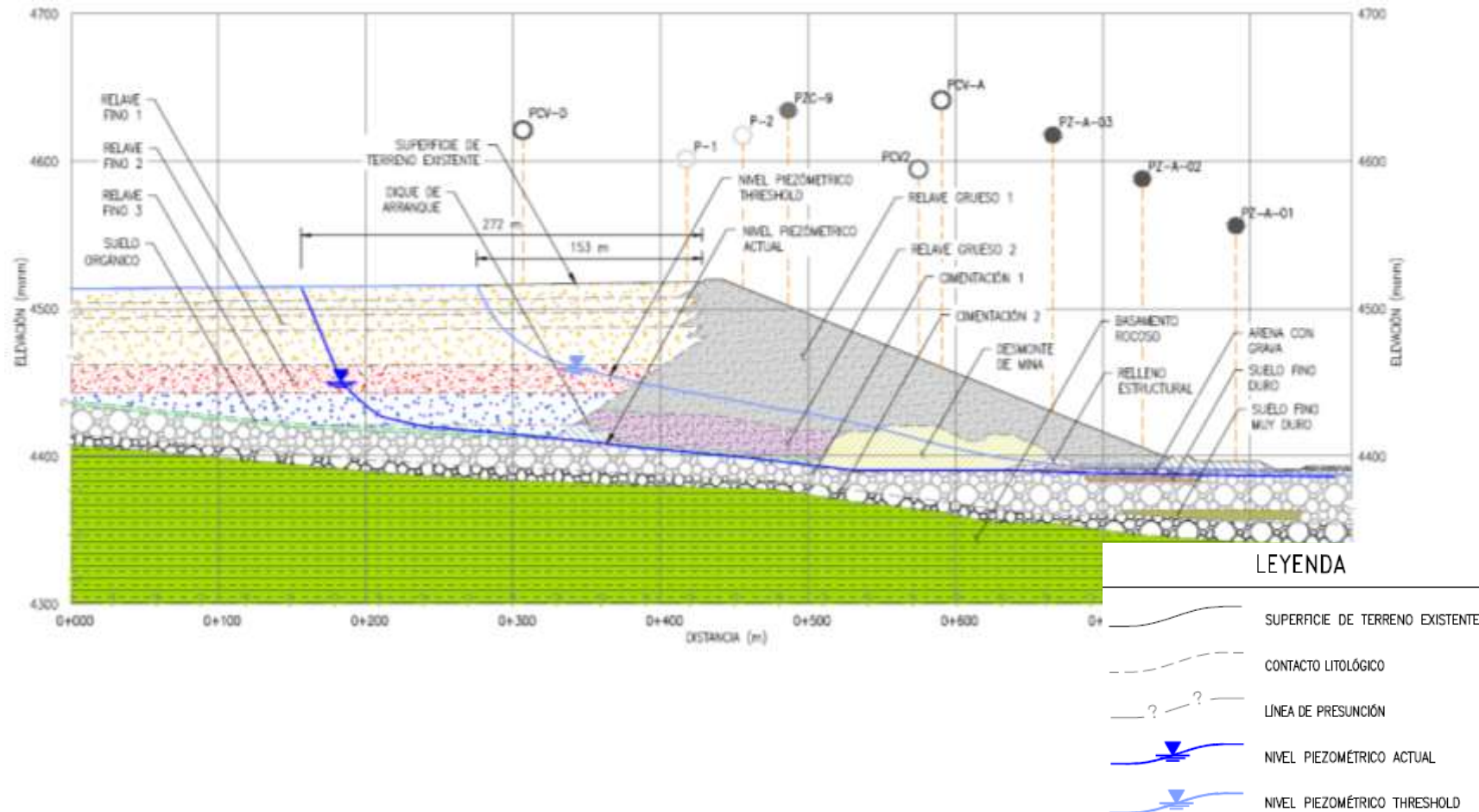


Herramientas de manejo de riesgo durante diseño, construcción y operación

- Actualización de niveles de alerta y verificación de parámetros de diseño.
 - Ejecución de revisión diaria (Operador)
 - Ejecución de revisión mensual (Responsable mina)
 - Ejecución de revisión periódica (EoR)
 - Ejecución de revisión anual (IRTB).
 - Revisión de seguridad de presas (independiente/EoR).
-

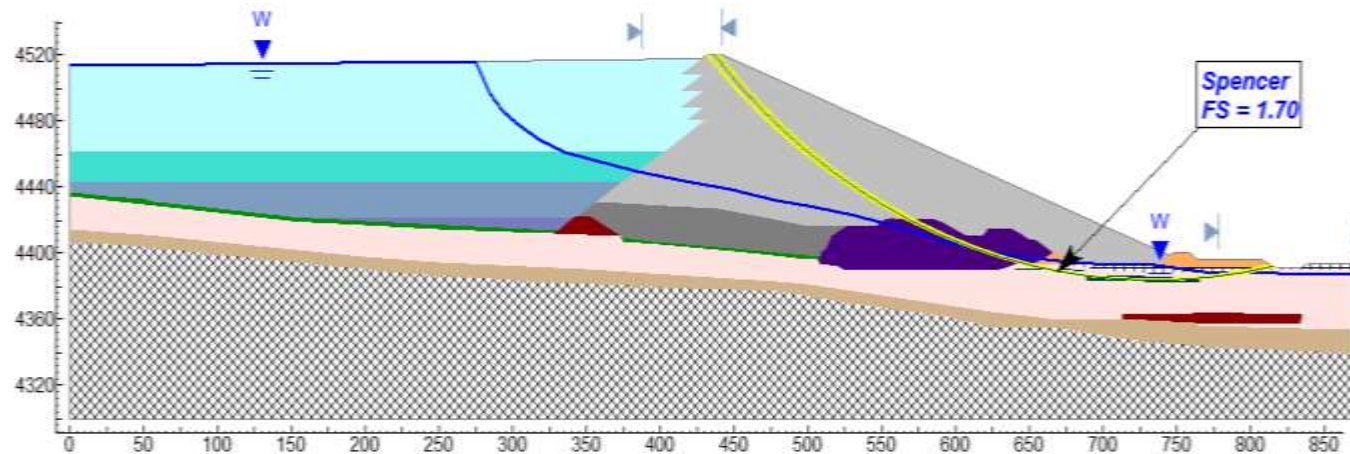
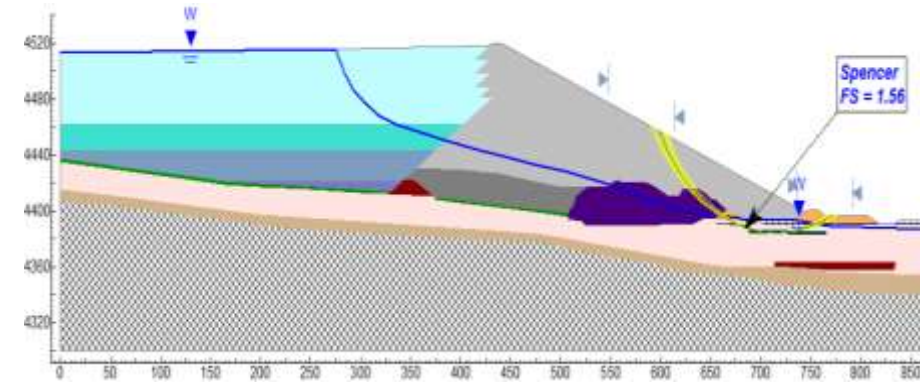
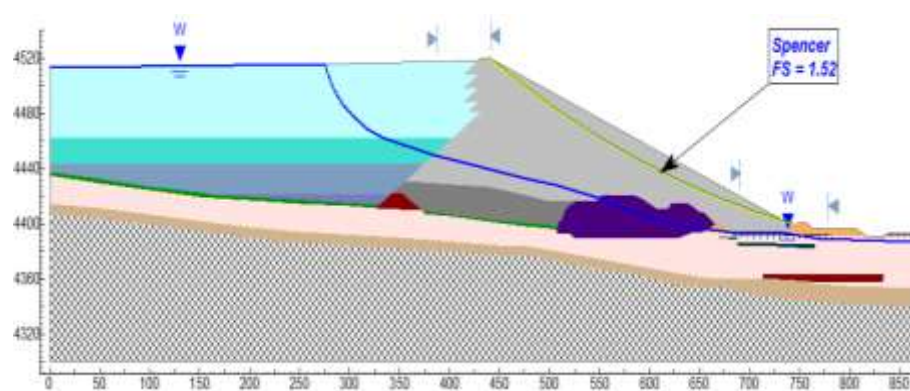


Manejo del Riesgo - Niveles de Alerta



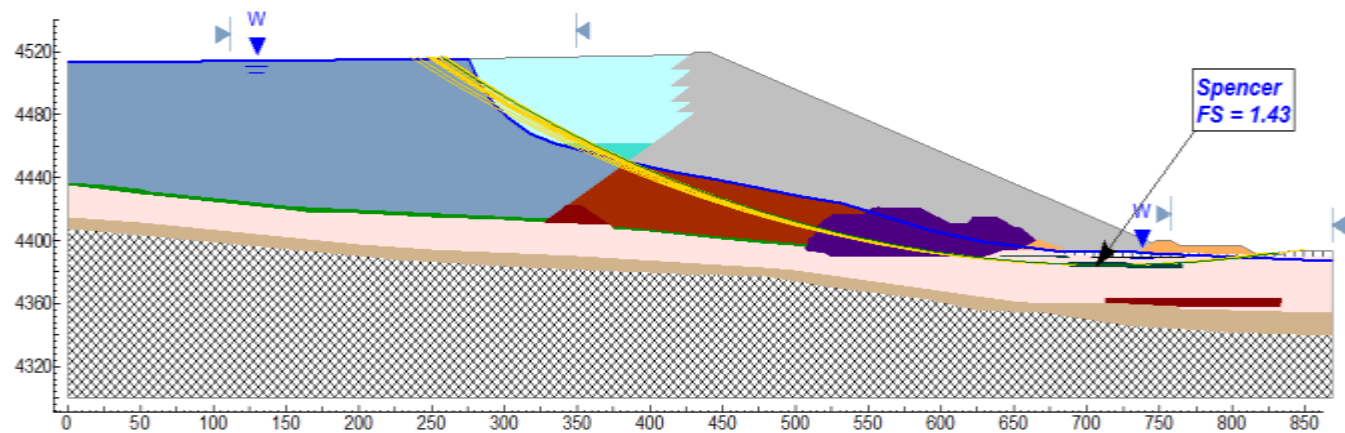
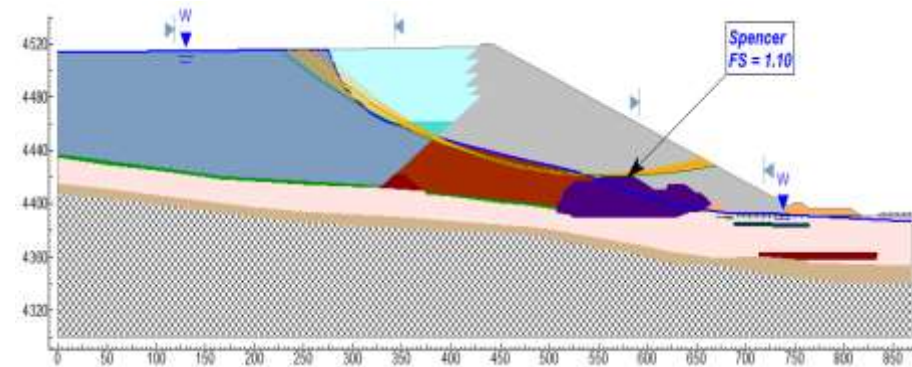
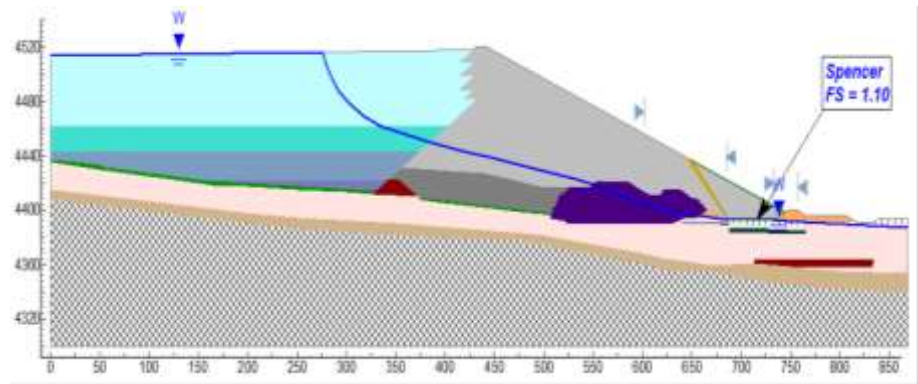


Manejo del Riesgo - Niveles de Alerta, Análisis Estático



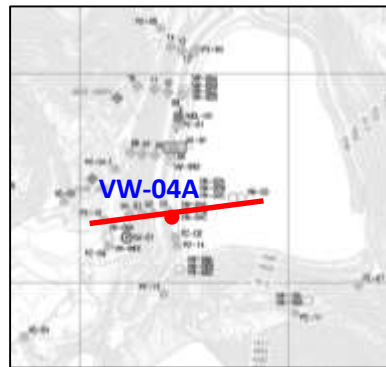


Manejo del Riesgo - Niveles de Alerta, Análisis Post Sismo



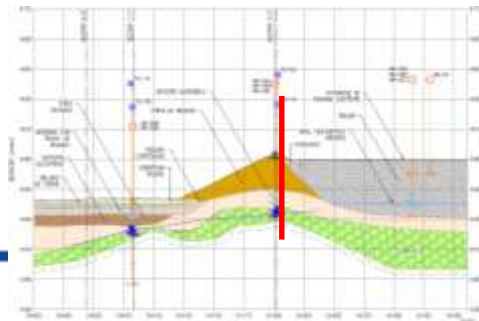


Manejo del Riesgo - Niveles de Alerta

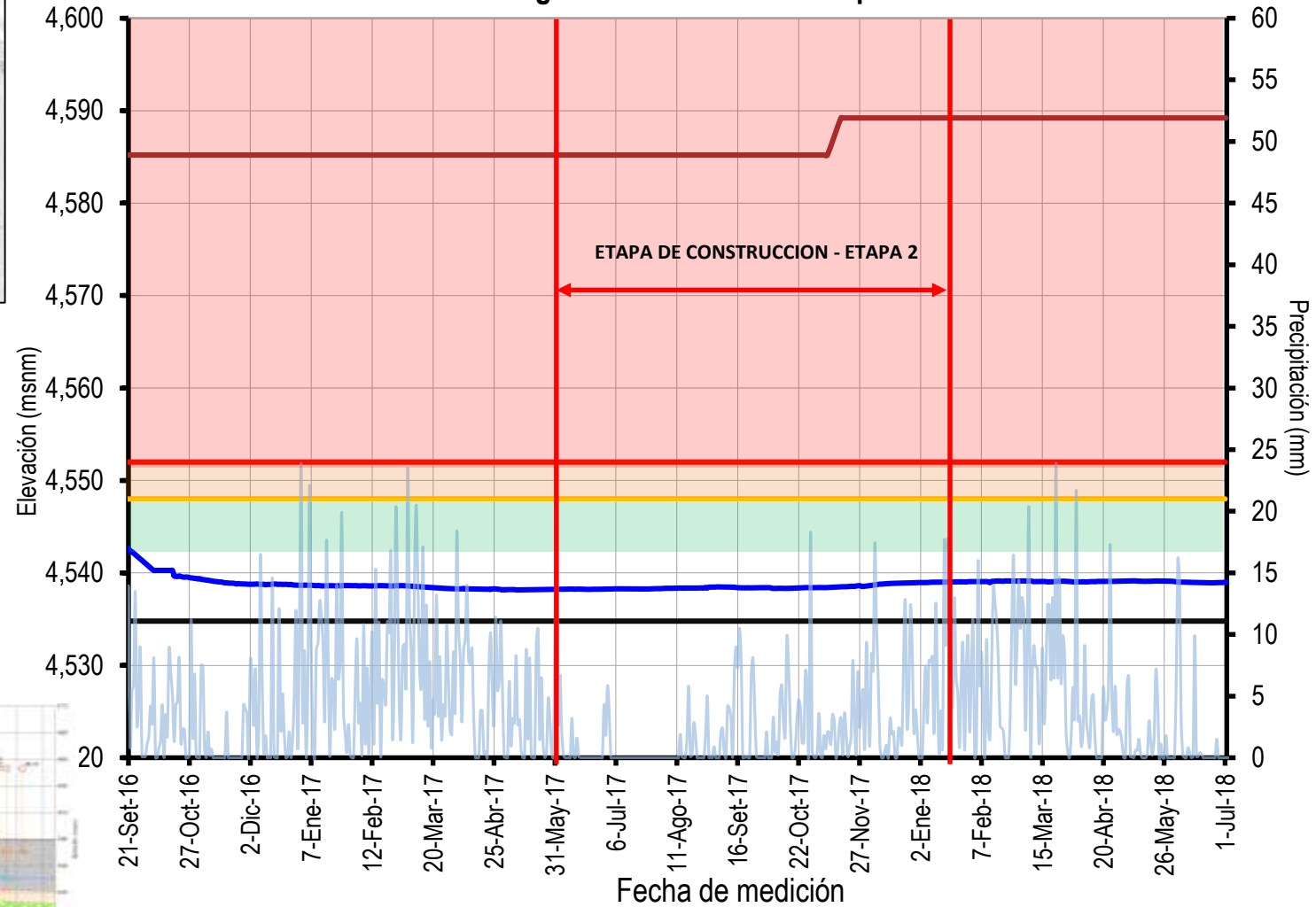


Ubicación: Cresta de la presa

- Cota de la cresta de la presa (msnm)
- Cota del nivel piezométrico (msnm)
- Cota del sensor (msnm)
- Nivel de alerta moderado
- Nivel de alerta crítico



Registro histórico del nivel piezométrico





Manejo del Riesgo - Niveles de Alerta, Frecuencia de Registro

| Código | Fecha de instalación | Fecha de primera lectura | Fecha de última lectura | Cantidad de registros | Estado | Frecuencia de monitoreo promedio (días) | | | Frecuencia de monitoreo recomendado - Trimestral (días) |
|---------|----------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------|---|---------------------|----------------------|---|
| | | | | | | Min. ⁽¹⁾ | Max. ⁽¹⁾ | Prom. ⁽¹⁾ | |
| AS-04 | 2/1/2014 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 70 | Operativo | 1 | 15 | 4,5 | 7 |
| AS-05 | 2/1/2014 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 70 | Operativo | 1 | 15 | 5,0 | |
| PZ-01 | 22/9/2015 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 70 | Operativo | 1 | 15 | 2,5 | |
| PZ-02 | 22/9/2015 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 73 | Operativo/Seco | 1 | 15 | 2,5 | |
| PZ-03 | 22/9/2015 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 71 | Operativo/Seco | 1 | 15 | 2,5 | |
| PZ-04.1 | 23/11/2016 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 51 | Operativo | 1 | 59 (Mayo 2018) | 2,5 | |
| PZ-05 | 2/1/2014 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 72 | Operativo | 1 | 15 | 2,5 | |
| PZ-06 | 2/1/2014 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 16 | Operativo | 1 | 15 | 11 | |
| PZ-07 | 2/1/2014 | 5/1/2018 | 1/7/2018 | 71 | Operativo | 1 | 15 | 2,5 | |
| PZ-08 | 21/9/2015 | 7/1/2018 | 1/7/2018 | 57 | Operativo | 1 | 17 | 3,0 | |



Manejo del Riesgo - Niveles de Alerta, Desplazamientos

- Cálculo con base a elementos finitos, calibración e información histórica.

| Condición y nivel de monitoreo | Instrumentación | | Comentarios |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|---|
| | Puntos de control topográficos | | |
| | Desplazamiento total absoluto (cm) | Velocidad media (cm/día) | |
| Normal | < 4 | < 0,5 | La estructura opera en condiciones adecuadas. |
| Moderado | 4 - 6 | 0,5 - 1,0 | Posiblemente se presente grietas y escarpas superficiales. |
| Crítico | > 6 | > 1,0 | El material presentará: grietas longitudinales que puedan comprometer la estabilidad de la estructura y deslizamientos de material de alturas mayores a 4 m. En dicho caso, se recomienda realizar análisis de estabilidad de manera inmediata. |

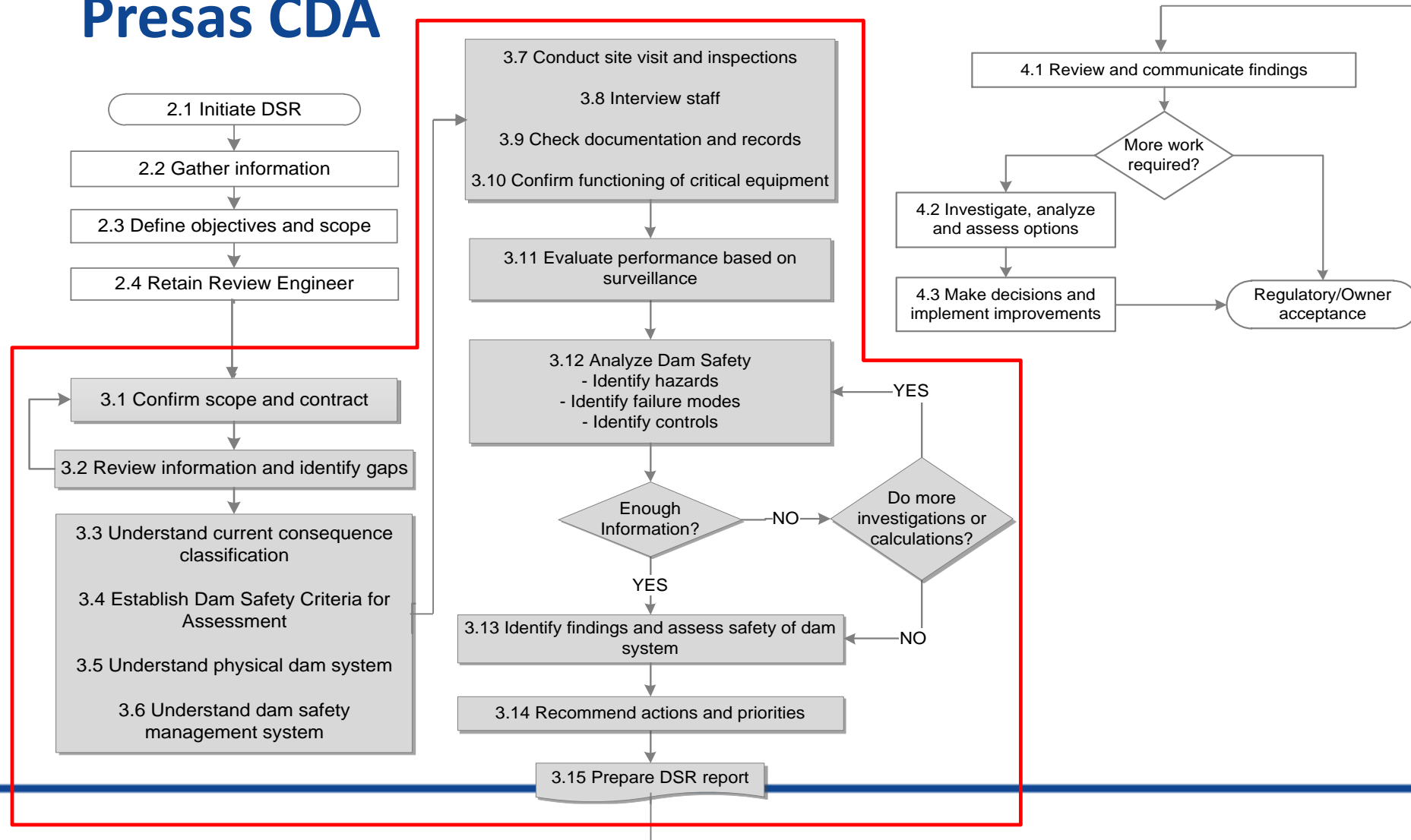


Manejo de Riesgo - Frecuencia de registros

| Código | Fecha de instalación | Fecha de primera lectura | Fecha de última lectura | Cantidad de registros | Frecuencia de monitoreo promedio (días) | | | Frecuencia de monitoreo recomendado - Trimestral (días) |
|--------|----------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|---|---------------------|----------------------|---|
| | | | | | Min. ⁽¹⁾ | Max. ⁽¹⁾ | Prom. ⁽¹⁾ | |
| PCT-01 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | 7 | 21 | 11 | 7 |
| PCT-02 | 17-03-18 | 07-04-18 | 14-07-18 | 11 | | | | |
| PCT-03 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-04 | 08-03-18 | 18-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-05 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-06 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-07 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-08 | 07-04-18 | 14-04-18 | 14-07-18 | 10 | | | | |
| PCT-09 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-10 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-11 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-12 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-13 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-14 | 08-03-18 | 17-03-18 | 14-07-18 | 12 | | | | |
| PCT-15 | 07-04-18 | 14-04-18 | 14-07-18 | 10 | | | | |



Manejo de Riesgo Revisión de Seguridad de Presas CDA





Manejo de Riesgo Revisión de Seguridad de Presas CDA

Criterios de evaluación geotécnica

| Descripción | unidad | Criterio de análisis |
|---|--------------------------|------------------------|
| Evaluación de estabilidad física | | |
| Periodo de retorno de sismo de diseño (normativa peruana) | años | 475 |
| Periodo de retorno de sismo de diseño (criterio de la CDA) | años | 2500 |
| Evento sísmico de diseño para 475 años (para suelo tipo C) | g | 0,37 |
| Evento sísmico de diseño para 2500 años (para suelo tipo C) | g | 0,59 |
| Coeficiente sísmico | adm | 50% del PGA |
| Factor de seguridad, estabilidad estática corto plazo, mínimo | FS | 1,3 |
| Factor de seguridad, estabilidad estática largo plazo, mínimo | FS | 1,5 |
| Factor de seguridad, estabilidad pseudoestática | FS | 1,0 |
| Análisis de deformación | Si FS pseudo estático <1 | 0,30 m (revestimiento) |



Revisión de Seguridad de Presas

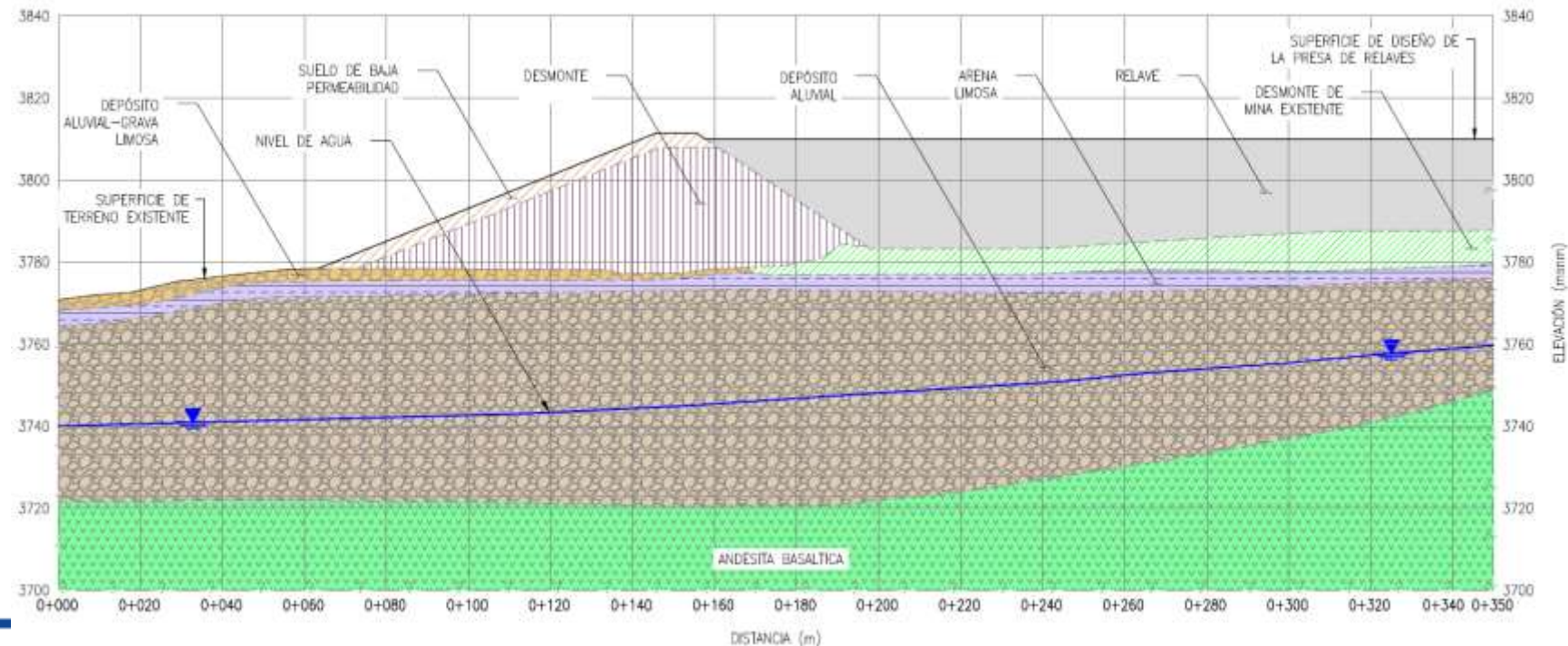
Criterios de evaluación hidrológica, hidráulica y geoquímica

| Descripción | unidad | Criterio de análisis |
|---|----------|---|
| Evaluación hidrológica e hidráulica para drenaje superficial | | |
| Periodo de retorno para canales | años | 500 |
| Revestimiento para canales | tipo | Mampostería de piedra |
| Espesor mínimo de revestimiento de canales | mm | 200 |
| Pendiente mínima de canales | % | 0,5 |
| Borde libre mínimo | mm | 300 |
| Evaluación hidrológica e hidráulica para borde libre (sin vertedero) | | |
| Contingencia por eventos extremos | | 2475 |
| Evaluación de estabilidad química | | |
| Material sin potencial generador de acidez (Non PAG: Not-Potentially ARD Generating) | Non PAG | $2 \leq \text{PN/PA}$ o $\text{PNN} \geq 20$ |
| Incierto | Incierto | $1 \leq \text{PN/PA} < 2$ o $+20 > \text{PNN} > -20$ |
| Material con potencial de generación de acidez (PAG: Potentially ARD Generating) | PAG | $1 > \text{PN/PA}$ o $\text{PNN} \leq -20$ |



Revisión de Seguridad - Entendimiento del sistema físico de la presa

Con la revisión de la información proporcionada, se entendió las componentes físicas del depósito, estructuras auxiliares, suelo de cimentación, materiales de construcción del depósito, geosintéticos, etc.





Revisión de Seguridad - Visita de inspección

| Anddes | | Lista de Verificación para Inspección de Campo | | | |
|---|--|--|--|-----------------|--|
| Empresa Minera: | | Supervisor (es): | Ingeniero geotécnico | | |
| Unidad Minera: | X | | Ingeniero hidráulico | | |
| Instalación: | Presas de Relaves SB | Fecha: | 01/04/2015 | | |
| Leyenda de registros en la columna resultados | ✓ = Cumple los estándares | X = Requiere acción | NP = No presenta | N/A = No aplica | |
| | | | | | |
| Componente | Ítem a Ser Inspeccionado | Resultados | Comentarios / Acciones | | |
| Presa | Talud aguas abajo y aguas arriba: | | | | |
| | 1. Erosión | X | Presenta ligera erosión y canalizaciones por lluvia. | | |
| | 2. Escarpas | NP | | | |
| | 3. Abultamientos | NP | | | |
| | 4. Hundimientos | NP | | | |
| | 5. Sumideros | NP | | | |
| | 6. Filtraciones | NP | | | |
| | 7. Tubificación | NP | | | |
| | 8. Empozamientos | NP | | | |
| | 9. Taludes estables | NP | | | |
| | 10. Riesgo de desborde de agua de relave | NP | Borde libre adecuado. | | |
| | 11. Agrietamientos en el talud | NP | | | |
| | 12. Deslizamientos globales en el talud | NP | | | |
| | 13. Cortes del pie del talud principal | NP | | | |
| | 14. Excavaciones no autorizadas | NP | | | |
| | Cresta: | | | | |
| | 1. Erosión | X | Presenta erosión por lluvia. | | |
| | 2. Escarpas | NP | | | |
| | 3. Hundimientos | NP | | | |
| | 4. Sumideros | NP | | | |
| | 5. Filtraciones | NP | | | |
| | 6. Tubificación | NP | | | |
| | 7. Sifonamiento | NP | | | |
| | 8. Empozamientos | NP | | | |
| | 9. Excavaciones no autorizadas | NP | | | |
| | 10. Cresta alineada y nivelada | NP | | | |
| 11. Ancho de corona uniforme | NP | | | | |
| 12. Rajaduras y fisuras | NP | | | | |





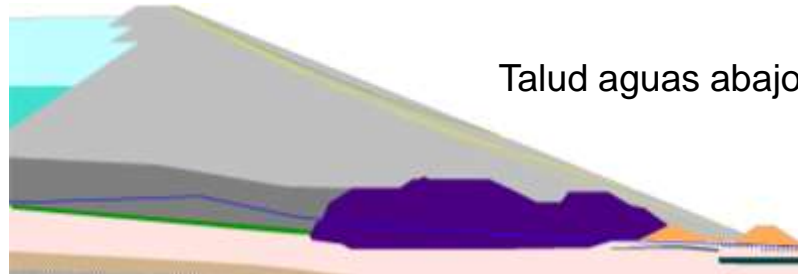
Revisión de Seguridad - Visita de inspección

| Anddes | | Lista de Verificación para Inspección de Campo | | | |
|--|--|--|---|-----------------|--|
| Empresa Minera: | | Supervisor (es): | Ingeniero geotécnico | | |
| Unidad Minera: | X | | Ingeniero hidráulico | | |
| Instalación: | Presas de Relaves 5B | Fecha: | 01/04/2018 | | |
| Legenda de registros en la columna resultados: | ✓ = Cumple los estándares | X = Requiere acción | NP = No presenta | NIA = No aplica | |
| | | | | | |
| Componente | Ítem a Ser Inspeccionado | Resultados | Comentarios / Acciones | | |
| Playa de relave | Distancia aproximada al cuerpo de la presa: | | | | |
| | 1. > 10 m | | | | |
| | 2. > 30 m | | | | |
| | 3. > 50 m | ✓ | Distancia variable a lo largo de la cresta. | | |
| | 4. > 100 m | | | | |
| | 5. Diferencia de cotejación en la superficie | NP | | | |
| Infraestructura de descarga de relaves | 1. Válvulas y bombas de impulsión | X | No fueron inspeccionadas. | | |
| | 2. Tubería de conducción | ✓ | Cinco tuberías y dos puntos de descarga. | | |
| | 3. Spigot de descarga | ✓ | Adecuadas condiciones. | | |
| | 4. Hidrocciones | NP | | | |
| | 5. Superficie de relave en depósito | ✓ | Se observa superficie no uniforme. | | |
| Infraestructura de manejo de agua de relave | 1. Tubería de colección | | | | |
| | 2. Barcaza de bombeo | ✓ | | | |
| | 3. Casa de bombeo | | | | |
| Manejo de agua superficial | 1. Comatación de canales perimetrales | NP | | | |
| | 2. Rosaduras de canales perimetrales | X | Canal rectangular de concreto. | | |
| | 3. Alcantarillas | ✓ | En la margen derecha debajo de acceso perimetral. | | |
| | 4. Toma de agua | ✓ | | | |
| Instrumentación geotécnica | 1. Piramis o puntos de control topográfico | ✓ | | | |
| | 2. Piezómetros de tubo abierto | ✓ | Presenta 5 piezómetros. | | |
| | 3. Piezómetros de cuerda vibrante | NP | | | |
| | 4. Inclínómetros | NP | | | |
| | 5. Otros (especificar) | NP | | | |
| Observaciones | Requiere instrumentación complementaria. | | | | |





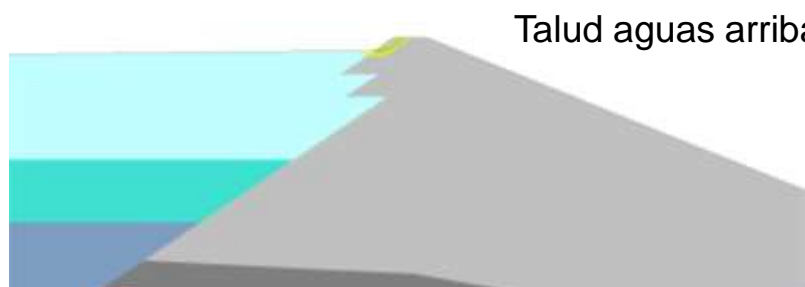
Revisión de Seguridad - Análisis de estabilidad



Talud aguas abajo

| Configuración | FS | | |
|---------------|----------|-------------------|--------------------|
| | Estático | Pseudoestático | |
| | | Tr=475 (0,14g) | Tr=2475 (0,18g) |
| 4497 | 1,51 | 1,05 | 0,96 |
| 4499 | 1,52 | 1,06 | 0,97 |

| Estructura | Desplazamiento permanente (cm) | |
|----------------|--------------------------------|-----------|
| | 475 años | 2475 años |
| Cota 4497 msnm | 39,6 | 55,2 |
| Cota 4499 msnm | 53,3 | 76,8 |



Talud aguas arriba

| Configuración | | | FS | |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------|-----------|
| Cota de la cresta | Cota del relave | Altura efectiva | Estático | PostSismo |
| 4497 | 4492,7 | 4,3 m | 1,36 | 0,92 |
| | 4493 | 4,0 m | 1,46 | 1,15 |
| | 4495 | 2,0 m | 1,52 | 1,49 |
| 4499 | 4495 | 4,0 m | 1,44 | 1,16 |
| | 4497 | 2,0 m | 1,81 | 1,31 |



Revisión de seguridad, Evaluación Hidráulica

- Los canales de coronación para flujos de no contacto (laderas naturales), fueron diseñados para eventos hidrológicos extremos de 100 y 500 años de periodo de retorno para una condición temporal y condición de cierre, respectivamente.
 - Los canales de coronación presentan revestimiento de mampostería de piedra.
 - Las estructuras hidráulicas se encuentran en buen estado.
 - Es necesario realizar mantenimiento periódico para evitar la colmatación de las estructuras.
 - El diseño original incluyó el balance de aguas, pero este no fue verificado en este estudio.
-



Revisión de Seguridad, Evaluación Geoquímica

- Según el estudio del Consultor 1 para el crecimiento de la presa se utilizó desmonte generador de acidez y que este material sería encapsulado por un material de baja permeabilidad.
- No se cuenta con ensayos de caracterización química de los rellenos utilizados en la construcción.
- Los ensayos geoquímicos realizados al relave, indican que el material es generador de drenaje ácido.

| Material muestreado | %S | PNN | PN/PA | Evaluación |
|---------------------|------|-------|-------|------------|
| relave | 2,77 | -88,4 | 0,05 | PAG |
| relave | 1,33 | -92,4 | 0,01 | PAG |
| relave | 1,07 | -28,9 | 0,29 | PAG |
| relave | 1,02 | 1,4 | 1,25 | Incierto |

- Como medida preventiva el diseño considera un revestimiento de geomembrana de todo el embalse.



Revisión de seguridad, Evaluación de Seguridad

| Apreciación | Valor asignado | Descripción de apreciación |
|-------------|----------------|--|
| Deficiente | 1 | Condiciones inaceptables, requiere acciones inmediatas. |
| Mala | 2 | Condiciones inadecuadas, requiere acciones en el corto plazo. |
| Regular | 3 | Condiciones aceptables; sin embargo, requiere acciones para cumplir con la normativa vigente (estándares del medio). |
| Buena | 4 | Condiciones adecuadas, con algunas oportunidades de mejora que se pueden implementar en el mediano y largo plazo. |
| Muy buena | 5 | Condiciones óptimas. |



Revisión de seguridad, Evaluación de Seguridad

| Evaluación | Diagnóstico | Evaluación | Acciones |
|------------|--|------------|---|
| Geotécnica | <ul style="list-style-type: none"> El coeficiente sísmico calculado en estudios previos para un tipo de suelo diferente a la cimentación de la presa. Faltan ensayos de sustento de laboratorio en el suelo de cimentación. | 3 | <ul style="list-style-type: none"> Actualizar el estudio de peligro sísmico. Realizar ensayos geofísicos: 4 MASW, 4 MAM, 1000 m de refracción sísmica. Realizar una perforación de 60 m para la caracterización de la cimentación. |
| | <ul style="list-style-type: none"> No se cuenta con información de topografía actualizada (planos <i>as-built</i> y dossiers). Los análisis de estabilidad para periodos de retorno de 500 años cumplen los FS. Para 2500 años, según las guías del CDA no cumplen. | 3 | <ul style="list-style-type: none"> Para evaluar la discordancia se deberá revisar los planos <i>as-built</i> y dossiers para verificar la configuración recomendada por el Consultor 1. Se deberá verificar la configuración actual y la proyectada en el cierre bajo condiciones y criterios actualizados. |
| | <ul style="list-style-type: none"> Solo se cuenta con registros históricos de hitos topográficos. No se disponen de registros históricos de piezómetros. Los registros indican velocidades de desplazamientos correspondiente a un nivel de operación normal. | 3 | <ul style="list-style-type: none"> Realizar un inventariado de la instrumentación existente y operativa de la presa de relaves. Instalar instrumentación complementaria de prismas y piezómetros de tubo abierto. Continuar con el monitoreo geotécnico con frecuencias de registro semanal. |



Revisión de seguridad, Evaluación de Seguridad

| Evaluación | Diagnóstico | Evaluación | Acciones |
|------------|--|------------|--|
| Hidráulica | <ul style="list-style-type: none"> Se cuenta con hidrología actualizada en la zona de la cuenca del río que cumple las metodologías y sustentos adecuados. | 5 | <ul style="list-style-type: none"> No requiere acción. |
| | <ul style="list-style-type: none"> La metodología de calculo y criterios asumidos en el balance de aguas son los adecuados. El borde libre satisface avenidas máximas de acuerdo a los periodos de retorno recomendado por el CDA. | 5 | <ul style="list-style-type: none"> No requiere acción. |
| Geoquímica | <ul style="list-style-type: none"> El relave colocado en el embalse es generador de acidez. Aparentemente la presa fue construida con desmonte de mina generador de drenaje ácido. | 3 | <ul style="list-style-type: none"> Realizar pruebas confirmatorias para definir las características del relave y verificar la eficiencia de la cobertura de cierre. Verificar la procedencia y características de los materiales usados en la construcción de la presa. Establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua, aguas debajo de la presa. |



Revisión de Seguridad

Recomendaciones

| Descripción | Medidas |
|---|---|
| Presas | <ul style="list-style-type: none">• Realizar ensayos de resistividad eléctrica y monitoreo geotécnico de los piezómetros existentes y los propuestos, con la finalidad de verificar que el sistema de impermeabilización del embalse trabaja adecuadamente.• Ensayos geofísicos: 4 MASW, 4 MAM, 1000 m de refracción sísmica, para la determinación de velocidades de ondas de corte en el relleno de la presa y la cimentación.• Realizar ensayos dinámicos de laboratorio para la caracterización del relleno de la presa y suelos de cimentación.• Realizar una perforación de 60 m para verificar y validar la caracterización de los materiales de la presa y de la cimentación.• Evaluar la estabilidad en términos de desplazamientos inducidos por sismo en lugar de únicamente el método pseudoestático.• Verificar la procedencia y características de los materiales usados en la construcción de la presa. |
| Playa de relaves | <ul style="list-style-type: none">• Realizar un control topográfico para cumplir en todo momento la distancia mínima de playa recomendada. |
| Infraestructura de manejo de agua de relave | <ul style="list-style-type: none">• Asegurar la adecuada disposición de relaves para obtener un volumen de aguas claras que asegure un adecuado funcionamiento del sistema de bombeo de agua. |
| Manejo de agua superficial | <ul style="list-style-type: none">• Implementar un plan de mantenimiento periódico de los canales existentes. |
| Instrumentación | <ul style="list-style-type: none">• Realizar un inventario de la instrumentación existente y operativa dentro de las instalaciones de la presa de relaves.• Complementar dicha instrumentación con la propuesta en este estudio.• Establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua, aguas debajo de la presa. |
| Sismo de diseño | <ul style="list-style-type: none">• La información sísmica existente no está actualizada. Se debe realizar un estudio de peligro sísmico completo para perfiles de suelo tipo B y C (la presa se encuentra en suelo tipo C).• Realizar un análisis de respuesta sísmica para estimar adecuadamente los espectros de respuesta asociados a la presa de presa de relaves y poder realizar análisis de estabilidad pseudoestáticos más confiables. |



Conclusiones

- Análisis de riesgo en todas las etapas.
 - Generación de un sistema de gestión de relaves.
 - Generación de niveles de alerta.
 - Inspección continua.
 - Monitoreo continuo.
 - Mejora continua.
 - Aplicación de revisión periódicas por diseñadores e ingenieros independientes.
-

