

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA
DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE FALLA EN
DEPÓSITOS DE RELAVES BAJO ENFOQUES DE RIESGO

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

JONATHAN FRANKLIN CANTURIN UBALDO
ID: 0009-0006-9050-5302

ASESOR

Ing. NILTON ERNESTO RIVAS OYOLA
ID: 0009-0000-7463-6632

LIMA – PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**
Canturin Ubaldo, Jonathan Franklin
jcanturinu@uni.pe
941370782

DEDICATORIA

A Dios por permitirme seguir cumpliendo las metas y objetivos planteados en mi vida. A mis padres Guillermo y Marina por su sacrificio, apoyo y cariño incondicional. A mis hermanos Wilder, Carlos y Magaly por confiar y creer en mi desarrollo profesional. A mis tíos Luzmila y Pedro por velar y cuidar de mí durante la etapa universitaria. A mi pareja de vida Cristina y a mis hijas Emilia y Amelie por la motivación día a día y los deseos constantes de superación mutua.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a la Universidad Nacional de Ingeniería, por permitirme ser parte de ellos al rendir un riguroso examen de admisión, el cual fue el punto de partida para iniciar mi etapa profesional.

Agradecer a la Facultad de Ingeniería Civil y a los docentes en general por los conocimientos impartidos durante toda la etapa universitaria.

A mi familia en general, mis padres, mis tíos, hermanos, mi pareja e hija por el apoyo incondicional y la confianza depositada en mi persona.

A mis compañeros y amigos muy cercanos de la universidad por la constante lucha y motivación durante nuestra etapa universitaria.

A mis amigos y colegas de la empresa HR Ingenieros Asociados S.A.C, donde tuve la oportunidad de adquirir, desarrollar y compartir conocimientos y experiencias durante estos últimos años.

Al Ing. Nilton Rivas Oyola, por ser parte de mi formación académica y compartir con mi persona los conocimientos adquiridos en su amplia experiencia. Asimismo, agradecerle por compartir investigaciones relacionadas al tema presentado y su constante motivación por el desarrollo y culminación del mismo. Por su dedicación, asesoría y revisión de la presente tesis.

Finalmente, agradezco a la persona quien lee este documento el permitirme compartir la metodología presentada, a fin de que sea de su interés y de esa manera pueda perdurar dentro de los conceptos que se va adquiriendo cada día.

ÍNDICE

Resumen	4
Abstract	6
Prólogo	8
Lista de tablas.....	10
Lista de figuras	13
Lista de símbolos y siglas	17
Capítulo I: Introducción.....	20
1.1. Generalidades	20
1.2. Descripción del problema de investigación.....	20
1.3. Objetivos del estudio	22
1.3.1 Objetivo general	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4. Antecedentes investigativos	22
1.5. Formulación de la hipótesis.....	26
Capítulo II: Marcos teórico y conceptual	27
2.1. Presas de relaves	27
2.1.1 Tipos de presas de relaves según métodos constructivos.....	28
2.1.2 Tipos de presas según su ubicación en el terreno.....	32
2.1.3 Ciclos de vida en presas de relave.....	33
2.1.4 Criterios de diseño	34
2.1.5 Estadísticas de componentes mineros en el Perú	39
2.2. Relaves	40
2.2.1 Relaves fluidos o pulpa	41
2.2.2 Relaves espesados	42
2.2.3 Relaves en pasta	43
2.2.4 Relaves filtrados.....	44
2.3. Tailing Dam Breach Analysis (TDBA)	45
2.3.1 Procesos para análisis de rotura de presas.....	46
2.3.2 Mecanismos de falla.....	48
2.3.3 Clasificación de presas de relaves	49
2.4. Riesgo	53
2.4.1 Conceptos básicos de riesgo	53
2.4.2 Gestión de riesgos	54
2.4.3 Modelos de riesgo	54

Capítulo III: Descripción de Metodología	58
3.1. Recolección y revisión de información antecedente	60
3.2. Mapeo de peligros.....	61
3.3. Modos de falla.....	65
3.3.1 Actualización de estadísticas de fallas	65
3.3.2 Identificación de modos de falla	76
3.4. Modos de fallas creíbles – modos de falla vs peligros	78
3.5. Elaboración de matriz de riesgo FMEA	81
3.5.1 Determinación del índice de severidad.....	82
3.5.2 Determinación del índice de ocurrencia.....	85
3.5.3 Determinación de índice de detección.....	86
3.5.4 Evaluación de riesgos	86
3.6. Selección de modos de falla creíbles para escenarios sunny day y rainy day	89
Capítulo IV: Aplicación de metodología.....	91
4.1. Recolección y revisión de información.....	91
4.1.1 Ubicación del depósito de relaves	91
4.1.2 Historia del depósito de relaves en estudio	93
4.1.3 Topografía y batimetría	95
4.1.4 Geología	96
4.1.5 Estudio de peligro sísmico.....	98
4.1.6 Hidrología.....	100
4.1.7 Hidrogeología.....	105
4.1.8 Geotecnia.....	106
4.1.9 Geoquímica.....	112
4.2. Mapeo de peligros.....	115
4.3. Modos de falla	118
4.4. Modos de falla creíbles vs peligros.....	119
4.5. Elaboración de la matriz FMEA	132
4.5.1 Severidad.....	133
4.5.2 Ocurrencia	142
4.5.3 Detección	145
4.5.4 Evaluación de riesgos	149
4.6. Selección de modos de fallas creíbles para escenarios de evaluación..	151
Capítulo V: Resultados.....	152

Conclusiones	156
Recomendaciones	160
Referencias Bibliográficas	162
Anexos	168

RESUMEN

Alrededor del mundo se han identificado más de 400 casos de fallas en presas de relave, y el Perú no es ajeno a este tipo de eventos, pues hasta la actualidad ha registrado 20 casos. Estas fallas en las presas han sido producidas a causa de deslizamientos, sismos, sobrepasso, entre otros, las cuales son consideradas las causas más estudiadas por los investigadores. Las causas son independientes por depósito de relaves, por lo que no necesariamente se debe generalizar, puesto que cada depósito dispone de una configuración particular y las condiciones de entorno en muchos de los casos no son los mismos. Aquí es importante una gestión integral de riesgos, en la cual se considere una evaluación a fondo de los posibles escenarios que puedan desencadenar una falla y el riesgo que esta representa.

Para ello, esta tesis propone y desarrolla una metodología para el análisis y determinación de escenarios de falla en depósitos de relaves bajo enfoques de riesgos. La metodología propuesta sintetiza la revisión de varias guías nacionales e internacionales y la buena práctica en este tipo de análisis, desarrolla un proceso secuencial que incluye desde recopilar y revisar la información disponible, identificar los peligros y seleccionar los mecanismos de falla creíbles que se encuentren asociados a estos peligros. Una vez identificado estos, se lleva a cabo el análisis de riesgo propiamente dicho, para ello se hace uso de la herramienta FMEA (*Failure Modes Effects and Analysis*) donde se determinan los índices de severidad (consecuencias), índices de ocurrencia (probabilidad de ocurrencia) e índices de detección (controles de detección), la relación entre estos índices clasifica al riesgo y al nivel prioritario de riesgo en rangos que van desde Bajo hasta Muy Alto.

Los mecanismos de falla creíbles serán determinados cuantitativamente por el resultado de un análisis de riesgo, el cual asigna números prioritarios. Los mecanismos de falla que obtengan los mayores números prioritarios de riesgos serán considerados como los escenarios de falla que deben ser incluidos para un análisis detallado. Estos escenarios también deben ser asociados a escenarios de falla hidrológicos, es decir si este mecanismo considera un escenario de condiciones hidrológicas normales (no ocurre durante una tormenta o inundación) será considerado un escenario *Sunny Day*, caso contrario será considerado como escenario *Rainy Day*.

Para una mejor comprensión de las etapas o procedimientos de la metodología propuesta, esta ha sido aplicada al depósito de Relaves Quiulacocha, el cual fue reportado por INDECI como un potencial peligro para las poblaciones existentes aguas abajo. Teniendo en cuenta esta metodología planteada se identificaron 20 peligros que desencadenan en mecanismos de fallas creíbles de las cuales 4 de ellos representaban un nivel prioritario de riesgo muy alto. Estos mecanismos de fallas creíbles que cuentan con mayor clasificación prioritaria de riesgo deben de ser evaluados en una siguiente etapa como parte de un análisis integral de riesgos, con ello podrán realizar un análisis de rotura de presas, clasificar la presa, implementar planes de preparación y respuesta ante emergencias, entre otros.

Esta tesis, incluye dos recomendaciones importantes para la disminución de riesgos de la industria minera: la estandarización de identificación de mecanismos de falla creíbles y su inclusión en el D.S. N°024-2016 EM de seguridad minera.

ABSTRACT

More than 400 cases of tailings dam failures have been identified around the world, and Peru is no stranger to this type of event, having recorded twenty (20) cases to date. These Tailings dam failures have been caused by landslides, earthquakes, overtopping and other causes, which are considered the most studied causes by researchers. The causes are independent for each Tailings Storage Facilities (TSF) and it should not be generalized because each TSF has a particular configuration and the surrounding conditions are not the same in many cases. Comprehensive risk management is important, which requires a thorough evaluation of the possible scenarios that could trigger a failure and the risk that they represent.

Thus, this thesis proposes and develops a methodology for the analysis and determination of failure scenarios in TSF under risk approaches. The proposed methodology synthesizes the review of several national and international guidelines and good practice in this type of analysis, developing a sequential process that includes collecting and reviewing the available information, identifying the hazards and selecting the credible failure mechanisms that are associated to these hazards. Once these have been identified, the risk analysis itself is carried out, using the FMEA (Failure Modes Effects and Analysis) tool, where the severity indices (consequences), occurrence indices (probability of occurrence) and detection indices (detection controls) are determined, the relationship between these indices classifying the risk and the priority level of the risk in ranges from Low to Very High.

Credible failure mechanisms will be determined quantitatively by the result of a risk analysis, which assigns priority numbers. The failure mechanisms that obtain the highest risk priority numbers will be considered as the failure scenarios that should be included for detailed analysis. These scenarios must also be associated with hydrological failure scenarios, that is, if this mechanism considers a scenario of normal hydrological conditions (it does not occur during a storm or flood) it will be considered a Sunny Day condition, otherwise it will be considered a Rainy Day condition.

For a better understanding of the stages or procedures of the proposed methodology, it has been applied to the TSF Quiulacocha, which was reported by

INDECI as a potential hazard for existing downstream populations. Taking into account this proposed methodology, 20 hazards were identified that trigger credible failure mechanisms, of which 4 of them represent a very high priority level of risk. These 4 credible failure mechanisms with the highest priority risk classification must be evaluated in a next stage as part of a comprehensive risk analysis, with this they will be able to carry out a tailings dam breach analysis, dam classification, implementation of emergency preparedness and response plans, among others.

This thesis includes two important recommendations for reducing risks in the mining industry: the standardization of identification of credible failure mechanisms and their inclusion in the D.S. N°024-2016 EM of mining safety

PRÓLOGO

Esta tesis nace como un aporte para mejorar los análisis de rotura de presas, en los cuales la determinación de un escenario de falla es subjetivo y cuestionable. Durante el desarrollo del análisis de rotura de presas se ha llegado a reflexionar de preguntas que surgen en cada caso. A menudo los diseñadores omiten a hacer estos análisis indicando que nadie diseña una estructura para que pueda fallar, pero la historia indica que sucede. Después de muchos años se comprende que el sentido de un análisis de rotura de presas es identificar riesgos en un supuesto negado de esta falla, así lo indican las buenas prácticas de la industria minera y las guías internacionales (CDA, ICOLD, ANCOLD, ICMM) que llevan esta filosofía. La práctica nacional está en este camino, no existiendo aun una guía que estandarice estos análisis, lo más cercano es el D.S. N°024-2014-EM y los talleres realizados por OSINERMING al respecto.

La presente tesis propone una metodología para la determinación de escenarios de falla en depósitos de relaves considerando un análisis cuantitativo de riesgos, Esta metodología considera la evaluación de riesgos para los mecanismos de fallas creíbles, para ello hace uso de una herramienta de gestión de riesgos FMEA, esta herramienta de gestión de riesgos es una técnica sistemática que considera los diversos modos de falla y evalúa los efectos.

Como se indicó previamente, para el análisis de mecanismos de falla creíbles y evaluación de riesgos, el autor consideró estándares internacionales y nacionales, tales como; *Dam Safety Review – Workshop* (CDA, 2016b), *Global Industry Standard on Tailing Management* (ICMM, 2020) y las vigentes normativas peruanas como el D.S. N°024-2014-EM y su modificatoria D.S. N°023-2017-EM.

Uno de los mejores aportes es la aplicación de la metodología, en la evaluación de un pasivo ambiental que ha sido declarado en peligro por INDECI. Este depósito de relaves mineros es Quiulacocha, ubicada en cerro de Pasco. Este depósito, parte de la minería antigua, no considera los estándares recomendados por las buenas prácticas seguidas en la minería actual, donde se identificaron hasta 20 peligros que desencadenan en mecanismos de fallas creíbles. Además, anteriormente este depósito de relaves presentó un reporte de peligros por parte del INDECI donde se advertía a las poblaciones ubicadas aguas debajo el probable desembalse de la relavera, dicho reporte solo consideró el peligro

relacionado al nivel de la laguna sobrenadante. En la presente tesis el autor considera todos los posibles peligros los cuales podrían desencadenar una falla del depósito de relaves en estudio y realiza el respectivo análisis cuantitativo de riesgos donde determina los niveles de riesgos prioritarios y de esa manera selecciona los escenarios de falla para el depósito de relaves Quiulacocha.

Considerando la validez y la importancia de estos tipos de estudios, se recomienda, siendo el Perú un país minero, revisar y difundir este material para la evaluación de depósitos de relaves y pasivos mineros en todo nuestro territorio. Este trabajo puede ser parte de tesis de grado para el enriquecimiento de futuros profesionales de ingeniería civil.

Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Criterios de Diseño para Inundación recomendados para las etapas de operación, cierre y post- cierre	35
Tabla N° 2.2. Criterios de Diseño para Sismos recomendados para las etapas de operación, cierre y post- cierre.....	35
Tabla N° 2.3. Criterios de Diseño recomendados para las etapas de construcción y operación	36
Tabla N° 2.4 Criterios de Diseño recomendados para la fase de Cierre Pasivo.....	36
Tabla N° 2.5. Criterios de Diseño recomendados para depósitos de relaves	36
Tabla N° 2.6. Factores de Seguridad mínimos recomendados	38
Tabla N° 2.7. Empresas y Unidades Mineras Supervisadas en el Perú	39
Tabla N° 2.8. Componentes mineros operativos supervisados de la Mediana y Gran Minería en el Perú	40
Tabla N° 2.9 Depósitos de relaves de la Mediana y gran Minería del Perú.....	40
Tabla N° 2.10. Clasificación de consecuencias según ICMM.....	51
Tabla N° 2.11. Clasificación de Consecuencias según CDA.....	52
Tabla N° 2.12. Clasificación de consecuencias según ANCOLD	52
Tabla N° 2.13. Clasificación de presas de agua según el riesgo potencial.....	53
Tabla N° 2.14. Matriz Básica de Evaluación de Riesgos.....	55
Tabla N° 3.1. Ejemplos de peligros Externos	62
Tabla N° 3.2. Ejemplos de peligros Internos	63
Tabla N° 3.3. Clasificación según Tipo o Modo de Falla	68
Tabla N° 3.4. Casos de fallas de presas de relaves en el Perú.....	73
Tabla N° 3.5. Matriz de Modos de Falla y Peligros.....	79
Tabla N° 3.6. Preguntas para validación de modos de falla relacionadas al peligro meteorológico.....	80
Tabla N° 3.7. Índices y Criterios de Severidad adaptado del ICMM	84
Tabla N° 3.8. Índices y Criterios de Ocurrencia	85
Tabla N° 3.9. Índices y Criterios de Detección	86

Tabla N° 3.10 Matriz de Evaluación Riesgo	87
Tabla N° 3.11. Niveles de clasificación de Riesgo	88
Tabla N° 3.12. Matriz de niveles prioritarios de Riesgo	88
Tabla N° 3.13. Clasificación de Niveles prioritarios de Riesgo	89
Tabla N° 4.1. Ubicación geográfica del Depósito de Relaves Quiulacocha	91
Tabla N° 4.2. Resultados Análisis Peligro Sísmico probabilístico para la zona de evaluación.....	98
Tabla N° 4.3. Resultados Análisis Peligro Sísmico Determinístico para la zona de evaluación- Suelo Tipo B	99
Tabla N° 4.4. Precipitaciones máximas en 24h para diferentes períodos de retorno (mm).....	102
Tabla N° 4.5. Estimación de la Precipitación Máxima Probable PMP	103
Tabla N° 4.6. Caudales máximos en la cuenca Quiulacocha (m ³ /s).....	104
Tabla N° 4.7. Resumen de parámetros de resistencia de los materiales	108
Tabla N° 4.8. Resultados del Análisis de Estabilidad	109
Tabla N° 4.9. Resultados del Análisis de Estabilidad Complementario en el dique Principal	111
Tabla N° 4.10. Comparación de resultados de mediciones de parámetros químicos en contraste con los LMP	114
Tabla N° 4.11. Identificación de peligros externos en el Depósito de Relaves Quiulacocha.....	115
Tabla N° 4.12. Identificación de peligros internos en el Depósito de Relaves Quiulacocha.....	115
Tabla N° 4.13. Matriz de Modos de Fallas y Peligros – Identificación de modos de falla creíble asociados a peligros existentes.....	130
Tabla N° 4.14. Lista de Peligros asociados a los mecanismos de falla para evaluación de riesgos	131
Tabla N° 4.15. Población Potencial en Riesgo y la Pérdida Potencial de Vidas – Falla en condiciones hidrológicas normales (Sunny day)- Caso 1	137

Tabla N° 4.16. Población Potencial en Riesgo y Pérdida Potencial de Vidas	
– Falla en condiciones hidrológicas extremas (Rainy day)	
– Caso 2	137
Tabla N° 4.17. Cuantificación de posibles consecuencias en el depósito de relaves Quiulacocha	138
Tabla N° 4.18. Determinación del índice de Severidad según los posibles efectos de Falla	140
Tabla N° 4.19. Determinación del índice de ocurrencia según la probabilidad de ocurrencia.....	143
Tabla N° 4.20. Determinación del índice de Detección según los controles en el diseño y/o procedimientos que permiten detectar la falla.	146
Tabla N° 4.21. Resumen de niveles de riesgo y niveles prioritarios de riesgo..	149
Tabla N° 4.22. Modos de Fallas creíbles seleccionados para escenarios hidrológicos Sunny day y Rainy day.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Esquema básico en planta de una presa de relaves operativa....	27
Figura N° 2.2. Método constructivo aguas arriba.	29
Figura N° 2.3. Método constructivo aguas abajo.....	30
Figura N° 2.4. Método constructivo línea central.....	31
Figura N° 2.5. Método constructivo línea central desplazada.....	32
Figura N° 2.6. Esquemas de tipos de diques según a su ubicación	32
Figura N° 2.7. Ciclos de vida en un depósito de Relaves.....	33
Figura N° 2.8. Tipos de Relaves y características principales.....	41
Figura N° 2.9. Vista en Planta del Depósito de Relaves en Pulpa de la Unidad Minera Julcani (Huancavelica, Perú).....	42
Figura N° 2.10. Vista en Planta del Depósito de Relaves espesados Toromocho (Junín - Perú)	43
Figura N° 2.11. Depósito de relaves Minera Aitos de Punitaqui (Chile).....	44
Figura N° 2.12. Depósito de relaves filtrados en Unidad Minera Cerro Lindo (Ica, Perú).....	44
Figura N° 2.13. Casos de Fallas históricas de presas de Relaves.	46
Figura N° 2.14. Pasos recomendados para la elaboración de una rotura de presa.....	47
Figura N° 2.15. Diagrama básico Bowtie con vínculos de controles.....	56
Figura N° 2.16. Modelo de Análisis FMEA	57
Figura N° 2.17. Ejemplo de esquema de árbol de Fallo	57
Figura N° 3.1. Procedimientos de la gestión integral de riesgos en un depósito de relaves.....	58
Figura N° 3.2. Diagrama de Flujo de Metodología Propuesta	59
Figura N° 3.3. Ejemplo de Mapeo de Peligros en un Depósito de Relaves en la Sierra del Perú	64
Figura N° 3.4. Cronología de base de datos existentes de Fallas en Depósitos de Relaves	65

Figura N° 3.5. Cantidad de Fallas agrupadas en décadas según Tipo o Modo de Falla	68
Figura N° 3.6. Estadística de Fallas según Tipo o Modo de Falla.	69
Figura N° 3.7. Estadística de Fallas según Tipo de Presa o Método Constructivo.....	70
Figura N° 3.8. Distribución de fallas alrededor del Mundo por países y regiones.....	71
Figura N° 3.9. Algunos casos de Fallas de presas de Relaves en el Perú.	72
Figura N° 3.10. Numero de fallas en el Perú distribuido por décadas según el Tipo de Falla	74
Figura N° 3.11. Estadísticas de Fallas en el Perú..	75
Figura N° 3.12. Asociación de modos de fallas específicas a modos de fallas globales	77
Figura N° 3.13. Ejemplo de identificación de modos de fallas creíbles.....	78
Figura N° 3.14. Procesos a Seguir para la Elaboración del FMEA	82
Figura N° 4.1. Ubicación general del área de estudio – Depósito de Relaves Quiulacocha.....	92
Figura N° 4.2. Línea de Tiempo del ciclo vida del depósito de relaves Quiulacocha.....	94
Figura N° 4.3. Límite de área con disponibilidad de topografía a detalle.....	95
Figura N° 4.4. Curva Área, Altura y Volumen del <i>Pond</i> del Depósito de Relaves Quiulacocha	95
Figura N° 4.5. Vista general de unidades Litoestratigráficas en la zona de estudio – Geología Local	97
Figura N° 4.6. Perfil Longitudinal – Sección Geológica del Depósito de Relaves Quiulacocha	97
Figura N° 4.7. Variación de parámetros climáticos principales.....	100
Figura N° 4.8. Vista general de microcuenca de análisis y modelo hidrológico	103
Figura N° 4.9 Vista general del modelo Hidrogeológico del depósito de Relaves Quiulacocha.	106

Figura N° 4.10. Caracterización de material del dique principal - sección de análisis.....	107
Figura N° 4.11. Caracterización de material del dique flotante - sección de análisis.....	107
Figura N° 4.12. Vista en planta de las secciones analizadas para el análisis de estabilidad.....	109
Figura N° 4.13. Relación del Potencial Neto de Neutralización (PNN) vs PH... ..	113
Figura N° 4.14. Relación del Potencial de Neutralización (NP) vs Potencial de Acidez (AP)	113
Figura N° 4.15. Identificación y mapeo de Peligros en el Depósito de Relaves de Estudio	116
Figura N° 4.16. Vista general de peligros externos identificados.....	117
Figura N° 4.17. Vista general de peligros internos identificados.....	117
Figura N° 4.18. Modos de Fallas Globales y principales características consideradas para el análisis en el Depósito de Relaves Quiulacocha.....	118
Figura N° 4.19. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro meteorológico - caso A1.	120
Figura N° 4.20. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro meteorológico - caso A2.	122
Figura N° 4.21. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro sísmico - caso B13.....	123
Figura N° 4.22. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro en el entorno del Depósito de Relaves - caso C1 al C14 – Desembalse de la laguna Patarcocha.....	125
Figura N° 4.23. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro en el entorno del Depósito de Relaves - caso C1 al C14 – Falla del Depósito de desmontes Excélsior.	125
Figura N° 4.24. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro de Barrera de Relaves o Dique de Relaves - caso D5	126
Figura N° 4.25. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro de Estructuras Hidráulicas - caso E1-E14.....	127

Figura N° 4.26. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro de Planes Inadecuados - caso G6 – Evaluación de Altura de Olas.	129
Figura N° 4.27. Identificación de centros poblados e infraestructuras importantes aguas abajo del Depósito de Relaves en Análisis...	134
Figura N° 4.28. Huella de Inundación y Profundidades máximas del modelamiento numérico preliminar de la falla del depósito de relaves Quiulacocha - Falla en condiciones hidrológicas normales (Sunny Day).	135
Figura N° 4.29. Huella de Inundación y Profundidades máximas del modelamiento numérico preliminar de la falla del depósito de relaves Quiulacocha – Falla en condiciones hidrológicas extremas (Rainy Day).	136
Figura N° 4.30. Índice de Severidad según categorías de evaluación.....	139
Figura N° 5.1. Distribución de niveles de riesgo y niveles de riesgo prioritario.	154

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

ALARP	As Low As Reasonably Practicable (Tan bajo como sea razonablemente factible).
AMSAC	Activos Mineros S.A.C.
ANA	Autoridad Nacional del Agua.
ANCOLD	Australian National Committee on Large Dams (Comité Nacional Australiano de Grandes Presas).
AP	Acidez Potencial o Potencial de Acidez.
CCD	Classification of Dam (Clasificación de Presa).
CDA	Canadian Dam Association (Asociación Canadiense de Presas).
CENEPRED	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
CMP, AMC, o PMF	Crecida Máxima Probable, Avenida Máxima Probable o, en inglés, Probable Maximum Flood. Es el nivel de caudal y volumen de escorrentía máximo debido a una PMP.
CSP²	Centro para la Ciencia en la Participación Pública.
D.S.	Decreto Supremo.
DET	Referido al índice de Detección.
DPL	Relacionado al Dynamic Probing Light (Penetracion Dinamica Ligera).
DSGM	División de Supervisión de la Gran Minería.
DSMM	División de Supervisión de la Mediana Minería.
EM	Energía y Minas.
EPP	Emergency Preparation Plan (Plan de Preparación ante Emergencias).
ERP	Emergency Response Plan (Plan de Respuesta ante Emergencias).
FMEA o AMFE	Failure Modes and Effects Analysis o, en español, Análisis de Modos de Fallas y Efectos.
FoS o FS	Factor of Safety o, en español, Factor de Seguridad.
FTA	Fault Tree Analysis (Análisis del árbol de fallas).
GSM	Gerencia en Seguridad Minera.
HEC	Hydrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica).

ICMM	International Council of Mining and Metals (Consejo Internacional de Minería y Metales).
ICOLD	International Commission On Large Dams (Comisión Internacional de Grandes Presas).
IDF	Inflow Design Flood (Flujo o Inundación de Diseño).
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil.
K_m	Variable estadística para el cálculo de la PMP, Factor de frecuencia que depende de la duración de la tormenta y la media de registros.
MAC	Mining Association of Canada (Asociación Minera de Canadá)
MASW	Multichannel Analysis of Surfaces Waves, o Análisis de Ondas Superficiales en Arreglo Muticanal.
MCA	Minerals Council of Australia (Consejo de Minerales de Australia).
MCE o SMC	Maximum Credible Earthquake o, en español, Sismo Máximo Creíble.
MINAM	Ministerio del Ambiente.
MINEM	Ministerio de Energía y Minas.
NP	Potencial de Neutralización.
NPR	Nivel o número prioritario de Riesgo.
OCU	Referido al índice de Ocurrencia.
OMS	Operation, Maintenance and Surveillance Manual (Manual de Operación y Control)
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
PAG	Potencial generador de ácido (Potential acidez generator).
PAM	Pasivos Ambientales Mineros.
PAR	Population At Risk (Población en Riesgo).
PFM	Probably Failures Modes (Probables Modos de Falla).
PFMA	Proabably Failures Modes and Analysis (Análisis de modos de falla probables).
PGA	Peak Ground Acceleration (Aceleración Pico del Terreno).
PLL	Potential Loss of Life (Pérdida Potencial de Vidas).
PMP	Probable Maximum Precipitation (Precipitación Máxima Probable).
PNN	Potencial Neto de Neutralización.

RSP o DSR	Revisión de Seguridad de Presas o, en inglés, Dam Safety Review.
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
SEV	Referido al índice de Severidad.
S_n	Variable estadística para el cálculo de la PMP, Variable de la Desviación estándar ajustada.
SPANCOLD	Comité Nacional Español de Grandes Presas.
SPT	Standard Penetration Test (Ensayos de Penetración Estandar)
TDBA	Tailing Dam Breach Analysis (Análisis de Rotura de Presas de Relaves).
TR o Tr	Periodo de Retorno.
TSF	Tailing Storage Facilities / Instalaciones de almacenamiento de Relaves / Depósitos de Relaves.
UNEP	United Nations Environment Program (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).
USCOLD	Comité de grandes presas de los estados unidos.
WISE	World Information Service on Energy (Servicio Mundial de Información sobre Energía).
X_m	Variable estadística para el cálculo de la PMP. Valor de la PMP.
X_n	Variable estadística para el cálculo de la PMP. Valor de la Media ajustado.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La minería en el mundo ha tenido un desarrollo notable desde su establecimiento, afirmándose como una de las actividades más comprometidas que dominan el desarrollo de muchos países. Por tanto, se ha visto el incremento de infraestructura minera y con ello el incremento del número de plantas de tratamiento, botaderos de desmontes, plantas de tratamiento de aguas, depósitos de relaves, entre otros (De la Cruz, 2017). Los depósitos de relaves en muchos casos logran alcanzar dimensiones similares o superiores a las presas de aguas, alcanzando a almacenar millones de metros cúbicos de relaves. Estos depósitos a pesar de contar con un estricto control de monitoreo y mantenimiento durante las etapas de construcción, operación y cierre, son susceptibles a fallar y ocasionar daños severos (CDA, 2014). Los depósitos de relaves representan un gran riesgo, pudiendo ocasionar pérdida de vidas, pérdidas económicas, pérdidas ambientales y culturales (CDA, 2014); por ello, la ICMM establece en sus estándares globales la necesidad de implementar y operar un sistema completo e integrado de monitoreo para la ingeniería, que sea adecuado para verificar los supuestos en el diseño y monitorear los modos de fallas creíbles. Este monitoreo, como parte de la revisión de seguridad de presas, debe ser evaluado en todas las fases del ciclo de vida de la instalación de relaves, incluso en su cierre.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Alrededor del mundo se han identificado un total de 407 casos de fallas de presas de relaves, estos en su mayoría (300) son previos al año 2000, 69 posteriores a este año y unos 38 casos categorizados como desconocidos debido a la falta de información existente (De la Cruz, 2017). Estos fallos en las presas han sido producidos por algunas causas como deslizamientos, sismos, sobrepasso, subsidencia, fallos de estructuras entre otros, las cuales son consideradas las causas más estudiadas por los investigadores, pero no necesariamente se debería de generalizar para todo tipo de depósitos de relaves, puesto que cada uno de ellos dispone de una propia configuración y las condiciones de entorno en muchos de los casos no son los mismos. Casos recientes como lo ocurrido en la presa *Mount Polley* (Canadá, 2014), *Brumadinho, Fundão* (Brasil, 2019 y 2015) representan un claro ejemplo de la importancia de la evaluación a fondo de los

posibles escenarios que se puedan originar producto de un manejo inadecuado de los residuos mineros.

En la actualidad, existe una gran documentación relacionada a los aspectos de diseño, construcción, operación y cierre de instalaciones mineras. Sin embargo, en cuanto a la guía y dirección de la gestión de relaves y su disposición se reconocen a 3 países como los precursores de estos tipos de documentos, estos son Canadá, Australia y Sudáfrica, los cuales tienen industrias mineras muy activas y grandes cantidades de depósitos de relaves (Castillo y Castillo, 2019). En el caso de Canadá las regulaciones de mina son controladas por la asociación minera de Canadá (MAC) y la Asociación de Presas de Canadá (CDA), las cuales cuentan con manuales y guías para el manejo, seguridad y clasificación de presas. Asimismo, también se cuenta con el Consejo Internacional en Minería y Metales ICMM, que ante los sucesos ocurridos en los últimos años ha llevado a cabo una revisión global de la gestión de relaves, encargando esta revisión a un panel de expertos. Esta revisión recomendó adoptar elementos claves en la gestión con la finalidad de minimizar las fallas catastróficas y uno de estos elementos corresponde a la gestión de riesgos.

En el Perú, la minería es considerada como una de las actividades económicas principales, teniendo así la necesidad de diseñar y construir nuevos depósitos de relaves, cada vez de mayor altura para maximizar su almacenamiento, lo que significa un gran desafío a la ingeniería en el Perú. Sin embargo, no se puede pasar por alto algunos casos recientes de falla más conocidos en el Perú como viene a ser la cancha de relaves “A” y “C” de la unidad minera Huachocolpa (Huancavelica, 2010), la Falla del depósito de relaves N°2 de la unidad minera Huancapeti (Ancash, 2018), el derrame de relaves en la unidad minera Cobriza (Huancavelica, 2019) y el derrame de relaves reciente en la unidad minera San Antonio - La Rinconada (Puno, 2022) que produjeron afectaciones ambientales y pérdidas económicas. Es por ello que la GSM (Gerencia en seguridad minera) y OSINERGMIN en la actualidad vienen promoviendo la aplicación de los estándares internacionales como la ingeniería especializada en la gestión y operación de depósitos de relaves y asimismo exigiendo una elaboración de un plan de preparación y respuesta a emergencias para depósitos de relaves en el caso que estos fallen, este plan deberá de ser de carácter obligatorio y para ello se debería de contar con un análisis de roturas de presas coherente, teniendo en

consideración el tipo de falla y/o escenario de falla para su evaluación, para así clasificar las presas de acuerdo a normas internacionales y determinar los criterios de diseño a considerar para éstos.

A raíz de los casos históricos tanto en el Perú como en el mundo, es común realizar análisis de roturas de presas para poder clasificar y determinar los criterios de diseño, así como elaborar planes de contingencia y plan de respuesta a emergencias. Como parte de este tipo de análisis y buenas prácticas se debe indicar los posibles escenarios de falla, para lo que se debe determinar algunas metodologías que ayuden a seleccionar las fallas de acuerdo al riesgo que estas representan, teniendo en consideración la ubicación y el diseño de cada depósito de relaves en particular

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1 Objetivo General

Proponer una metodología para el análisis y determinación de escenarios de falla en depósitos de relaves bajo enfoques de riesgos en el Perú.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir y analizar la metodología propuesta para la determinación de escenarios de falla.
- Aplicar y definir los escenarios de falla con la metodología propuesta en la realidad peruana, aplicado a un depósito de relaves en el Perú.

1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En el Perú, en el 2020, Iparraguirre y Huamán realizaron la presentación de la Revisión de Seguridad de Presas de Relaves Según la Guía CDA (*Canadian Dam Association*) donde se dio a conocer los alcances y definiciones de una Revisión de Seguridad de Presas (RSP). En ésta se resalta que la RSP es una práctica global expandida a la Minería, también se da a conocer que la RSP es un proceso periódico y sistemático, la cual es llevado a cabo por un ingeniero revisor calificado, para realizar el análisis de la seguridad de presa, identificando así los peligros, los modos de falla y estableciendo los controles. Es por ello que una RSP incluye un análisis de riesgo, para la cual se ha recomendado seguir un modelo denominado BOW-TIE que se basa en la identificación de peligros y la reducción

de riesgos; sin embargo, no es el único modelo o metodología que se puede seguir para un análisis de riesgo. Asimismo, se presenta una matriz de modos de fallas y Peligros recomendados por la CDA (2016) la que ayuda a identificar si existe alguna relación entre los peligros y modos de fallas identificados. (Iparraguirre, C. y Huaman C., 2020)

Asimismo, en el 2020, Osinergmin realizó la presentación enfocada en la supervisión de la gestión y operación de los depósitos de relaves, donde se recomienda la aplicación de estándares internacionales como la CDA, ICMM (*International Council on Mining and Metals*), MAC (*Mining Association of Canada*), entre otros. Estos estándares promueven la aplicación de una ingeniería especializada en la gestión y operación de depósitos de relaves, así como planes de preparación y respuesta de emergencias específico para depósitos de relaves. Para lo cual exigen un análisis de roturas de presas y su clasificación, que los organismos internacionales valoran en distintos rangos, siendo la CDA más estricto con respecto a la ICMM, esto se debe particularmente a que la CDA considera todos los posibles modos de falla, sin embargo, la ICMM hace hincapié en considerar las fallas creíbles. Estas fallas son mecanismos de falla técnicamente factibles teniendo en cuenta los materiales presentes en la estructura y en su fundación, así como la configuración propia de la estructura.

Por otro lado, Huamán en el 2020 realizó la presentación denominada Consideraciones para el Análisis de Roturas de Presas de Relaves donde da a conocer que uno de los principales usos de estos estudios tiene que ver con la clasificación de presa, la cual de acuerdo a algunos organismos internacionales (CDA, ICMM) puede ser valorada en distintos rangos, desde insignificante hasta extrema. Esta clasificación debe de considerarse para obtener un criterio de diseño; asimismo, para realizar estos análisis se deberían de realizar el análisis de riesgo de falla de la presa donde se identifiquen las causas y los efectos, estos factores deberían de ser valorados y clasificados. (Huamán, 2020)

Castillo, L. y Castillo, I. en el 2019 realizaron la generación de mapas de peligro producido por la simulación del vertido de relaves de la rotura de la presa N°4 en el distrito de Carmen de Atrato. Los escenarios seleccionados para el modelamiento se basan en una probabilidad de falla expresada en un análisis de árbol de eventos general determinando así 2 escenarios, el primero correspondiente a una falla por evento sísmico y la segunda generada por un

desbordamiento; sin embargo, no se ha considerado las características propias del depósito de relaves ni se ha realizado una evaluación de riesgo de la zona para determinar las fallas más probables. (Castillo y Castillo, 2019)

Oyola en el 2016 presenta la propuesta para modelación numérica de rotura de una presa de tierra de contención de relaves convencionales donde se muestra el procedimiento y cálculo estadístico de los volúmenes vertidos, hidrogramas de descarga y la generación de mapas de peligros de inundación, además de ello da una explicación de las diferentes causas de roturas de presas según el boletín 121(ICOLD, 2001). Sin embargo, solo se aplicaron los modos de falla correspondiente a los deslizamientos y sismos en presas por ser las causas más frecuentes en las roturas de presas de relaves (Oyola, 2016). De esto se podría comentar que es una conclusión general, puesto que no está verificando las características ni la estructura del depósito de relaves.

A nivel internacional, la CDA (*Canadian Dam Association*) presentó una guía para el análisis de falla de presas de relaves en donde especifica que este tipo de análisis puede corresponder a uno de alto nivel (cuantitativos) como a análisis detallados (cuantitativos). En esta guía la CDA define como falla de presa de relaves a una ruptura física de la presa seguida de una liberación incontrolada de materiales almacenados, la guía evalúa escenarios hipotéticos de falla de presas e involucra una serie de análisis para evaluar las características del flujo de relaves y su impacto aguas abajo. Respecto a los escenarios de falla que deberían de ser evaluados, la CDA comenta que se deberá de requerir una revisión de los posibles modos de falla que resultan en una rotura de presa para lo que se deberá de completar un análisis de modos y efectos de falla u otra metodología similar que respalde a la formación de brechas y escenario de falla. Asimismo, sugiere una evaluación en condiciones hidrológicas normales y en condiciones hidrológicas extremas (CDA, 2021).

La CDA realizó una conferencia denominada “*Balancing Past Performance with Future Expectations*” (Equilibrar el rendimiento pasado con las expectativas futuras), en donde se expusieron varias investigaciones asociadas a los regímenes regulatorios en construcción y operación de presas en general, a las que incluyen las presas de aguas y relaves. Entre sus investigaciones se encuentran los análisis de riesgos, de los cuales se pueden resaltar algunos de ellos como “*Development and application of a Vulnerability – Based Risk*

Assessment Tool for Dam Safety" (Dundas, B. Campbell, A. Mitchelmore, P., 2021) en donde se calculó el índice de riesgo basado en la vulnerabilidad, estos índices variaban entre 0 a 5 según la clasificación de la presa y se clasificó 23 categorías de vulnerabilidad aplicada a una condición de diseño, día soleado, inundación o sismo. Asimismo, se realizó la presentación de "*Application of a Hybrid PFMEA Approach: A tool for risk Management*" (Groeneveld, J. Acharya, M., Donnelly, R., 2021) en la que se realiza la combinación de los análisis de modos de falla probable (PFMA) y un Modos de falla y evaluación de efectos (FMEA), donde se logró un enfoque de riesgos para la gestión de seguridad de presas. Mediante el uso de esta herramienta de evaluación de riesgos se estimó la probabilidad de falla para los PFM claves y se clasificó los modos de falla usando una métrica de riesgo denominada rapidez del fracaso.

Por otro lado en agosto del 2020, la ICMM publica el Estándar Global de Gestión de Relaves para la industria minera, donde da a conocer los criterios de diseño que deberán de adoptar los depósitos de relaves de acuerdo a su clasificación por consecuencias, es ahí donde se hace hincapié en desarrollar y documentar un análisis de roturas de presas de las instalaciones de relaves aplicando una metodología que considere modos de falla creíble, teniendo en consideración las condiciones del emplazamiento y las propiedades de los relaves. Los resultados de dicho análisis deberán de estimar el área física de impacto ante una falla potencial. Asimismo, este análisis de se debe de actualizar cuando se produzca un cambio importante en la zona impactada. (ICMM, 2020)

En España, De la Cruz en el año 2017 realizó una evaluación de fallas de presas de relaves con el método del árbol de fallos (FTA- *Fault Tree Analysis*), donde determinó las causas que condicionan la rotura de las presas de relaves y su liberación al medio ambiente, para ello elaboró una base de datos donde recopiló hasta 407 fallas de presas de relaves a nivel mundial para identificar los mecanismos de fallas más representativos, a partir de ello realizó un análisis preliminar de riesgo para así elaborar el árbol de fallas y de esa manera cuantificar las probabilidades de los modos de fallas.(De la Cruz, 2017)

Por lo anteriormente expuesto se puede apreciar que a diferencia de hace algunos años ya existe nomenclatura acerca de modelamientos de fallas de depósitos de relaves guiadas por organismos internacionales; sin embargo, no se precisa un análisis detallado respecto a los modos de fallas o escenarios de falla que cada

depósito de relave pueda llegar a presentar, esto se debe a la particularidad que cada depósito presenta.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Realizando la revisión de guías de seguridad nacionales e internacionales es posible definir y aplicar una metodología para determinar los escenarios de fallas creíbles en depósitos de relaves, con ello se puede realizar la cuantificación de daños requeridas para clasificar estos depósitos de relaves, elaborar planes de preparación y respuestas ante emergencias por la rotura de la misma, evaluar controles considerando los peligros existentes. Además, determinar parámetros de diseño de acuerdo a la clasificación que éstas representan.

CAPÍTULO II: MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. PRESAS DE RELAVES

Las presas de relaves son estructuras de contención construidas para incautar subproductos de la minería, a menudo con el propósito conjunto de almacenar el agua sobrenadante que se recicla a la planta de proceso, o para la protección ambiental y la estabilidad geoquímica. Estas presas tienen algunas características en común con las presas de almacenamiento de agua, particularmente si se requiere una cubierta de agua para los relaves. Se pueden incluir cubiertas de agua en el diseño cuando los relaves almacenados contengan materiales generadores de ácido (AG) o potencialmente generadores de ácido (PAG), o si los relaves deben protegerse con agua para controlar el polvo y limitar la contaminación del aire. El uso de cubiertas de agua también puede ser necesario para fines de gestión del agua y puede ser diferente durante la operación, el cierre y las etapas posteriores al cierre en el ciclo de vida de una instalación de almacenamiento de relaves (TSF) como se comenta en el boletín de presas mineras (CDA, 2021).

En la Figura N° 2.1 se muestra un esquema básico en planta de una presa de relaves operativa.

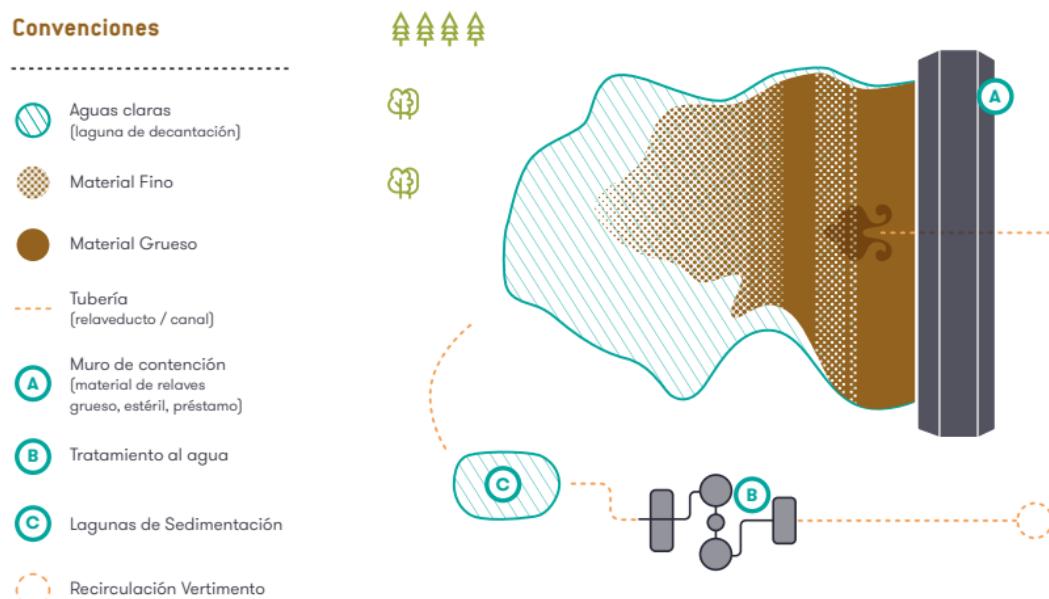


Figura N° 2.1. Esquema básico en planta de una presa de relaves operativa

Fuente: Ministerio de Minas y Energía - ATG – Colombia (2021)

2.1.1 Tipos de Presas de Relaves según Métodos Constructivos

2.1.1.1 *Método constructivo aguas arriba (Upstream)*

Este método de construcción es el sistema más antiguo aplicado a depósitos de relaves. Consiste en que cada crecimiento se apoya sobre el coronamiento del anterior y la playa de relaves depositados, tal como se muestra en Figura N° 2.2. Al construir con este sistema el volumen de la presa se puede ahorrar tanto como sea posible, pero su desventaja es que la estabilidad de la estructura resultante es muy sensible al estado del nivel del agua. El sistema todavía se usa en las áreas más secas del mundo donde el nivel del agua dentro de la presa se puede mantener al mínimo. (De la Cruz, 2017).

En este método de construcción, se requiere precaución al levantar o elevar la altura del terraplén. Si el terraplén se eleva rápidamente y los relaves debajo de este normalmente no se solidifican, la presión intersticial del agua en los relaves aumentará y el depósito de relaves será propenso a fallar. La mayoría de ruptura de diques construidos con la metodología aguas arriba ocurren durante o después de lluvias de gran magnitud, lo que puede resultar en la acumulación de aguas en el depósito y de esta manera se reduzca la longitud de la playa de relave. Por lo tanto, este método se ve favorecido en las regiones secas, donde la cantidad mínima de agua se retornan al depósito de relaves. (De la Cruz, 2017)

Actualmente este tipo de crecimiento no es recomendado en América, puesto que se encuentra en una zona altamente sísmica y al contar con capas no compactas y saturadas, podría ocasionar la licuación del material y generar una falla que provoque la salida de relaves.

En el Perú, el “reglamento de protección y gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero” del Decreto Supremo D.S. N°04-2014-EM (MINEM, 2014) considera la prohibición de las construcciones de presas de relaves con el método aguas arriba. (Ver artículo 77° “Plantas de concentración de minerales y depósitos de relaves”)

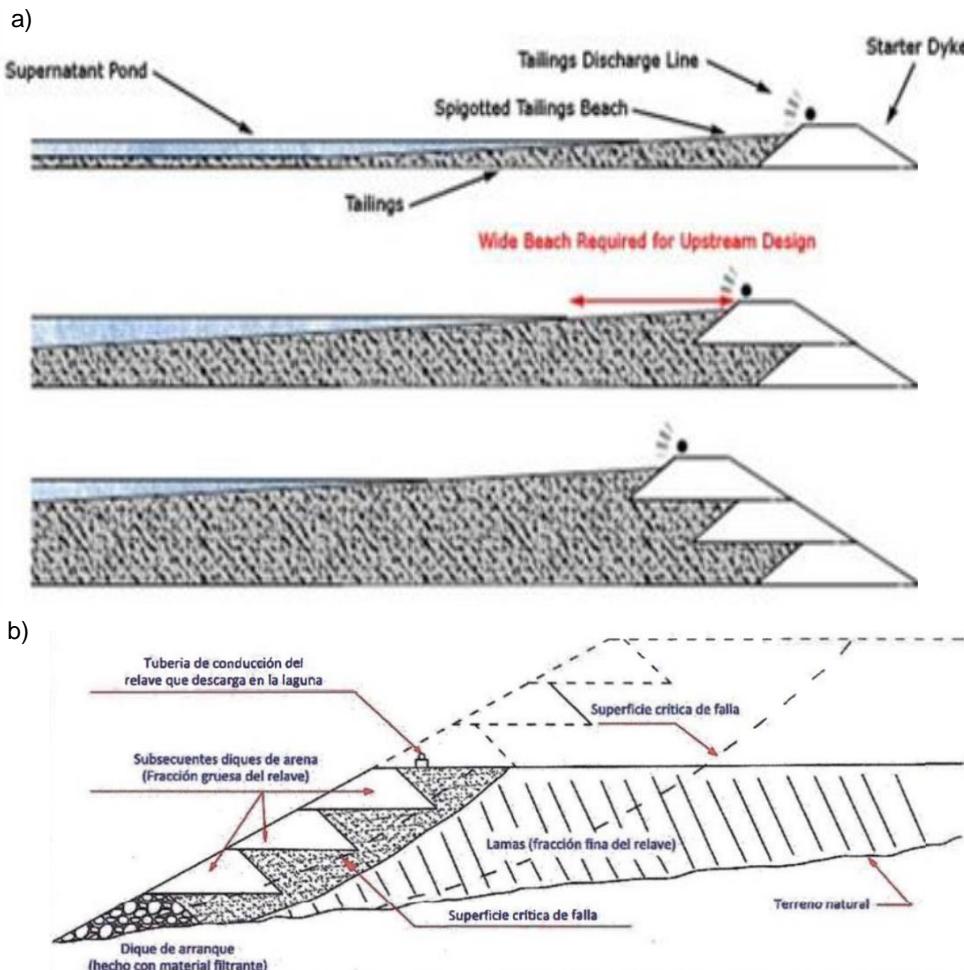


Figura N° 2.2. Método constructivo aguas arriba.

Fuente: a) TailPro (s.f.); b) Ordoñez, 1984

2.1.1.2 Método constructivo aguas abajo (Downstream)

Este método de construcción es muy versátil y resulta compatible con distintos tipos de depósitos para residuos. Este método de crecimiento del dique es en dirección hacia aguas abajo (dirección opuesta al depósito), donde los nuevos recrecimientos se construyen sobre las anteriores elevaciones (Ver Figura N° 2.3). En comparación a los otros, esta es la estructura más estable de los tres métodos de deposición de residuos; sin embargo, suele ser el método más costoso para las condiciones de cierre. (De la Cruz, 2017)

Este tipo de construcción con el método aguas abajo es particularmente adecuada para las zonas de alta actividad sísmica. La instalación de núcleos impermeables y capas de drenaje permitirán a la instalación mantener un volumen considerable de agua directamente contra la pared interior de la instalación, además permite la

construcción de sistemas de drenaje y su impermeabilización (uso de geomembrana) en cada etapa. (Castillo y Castillo, 2019)

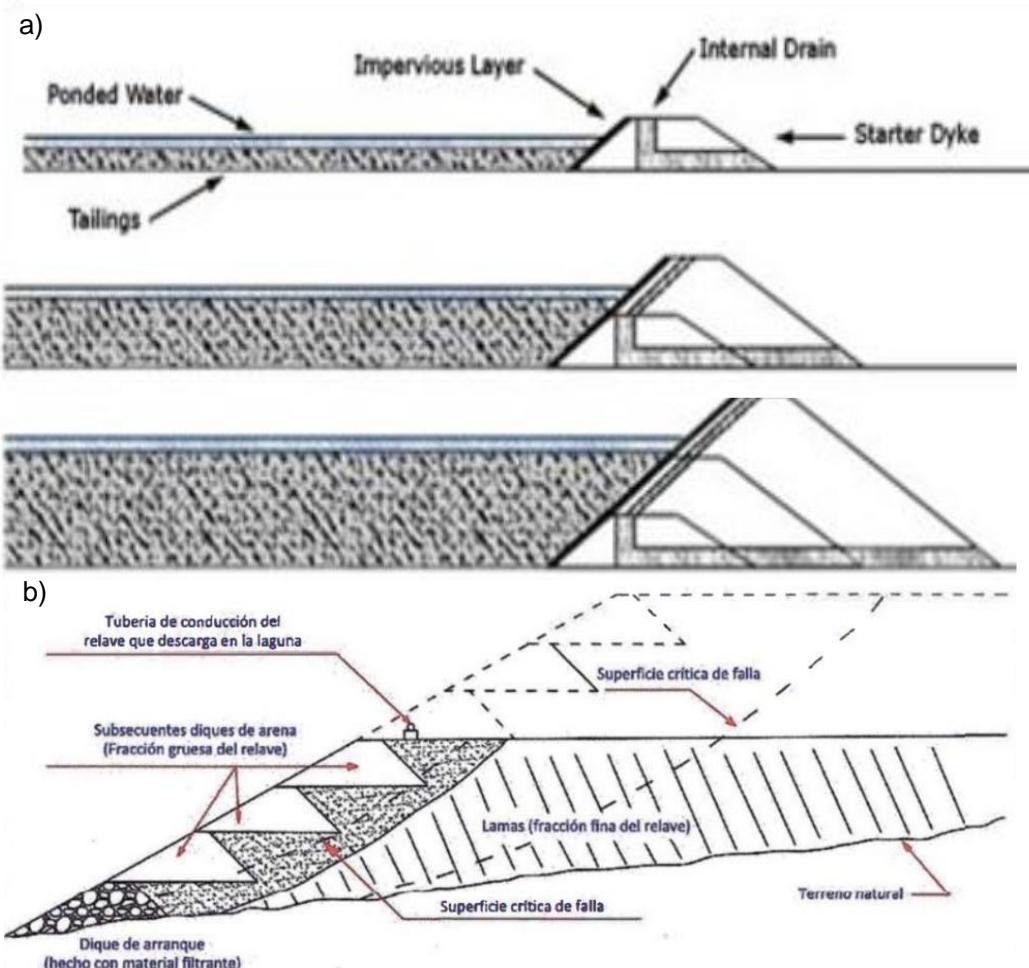


Figura N° 2.3. Método constructivo aguas abajo.

Fuente: a) Tailings.info, 2012; b) Ordoñez, 1984

2.1.1.3 Método constructivo línea central (Center Line)

Combina algunas de las ventajas de los otros métodos, este método requiere menor volumen de material para las etapas de crecimiento que el método de construcción aguas abajo, pero la capacidad de retención de agua no es tan buena. Por otro lado, cuenta con una mejor estabilidad sísmica que el método aguas arriba. (De la Cruz, 2017).

En la Figura N° 2.4 se muestra la configuración que tiene una presa de relaves construida con este método, donde el crecimiento mantiene el mismo eje sobre la berma de la corona.

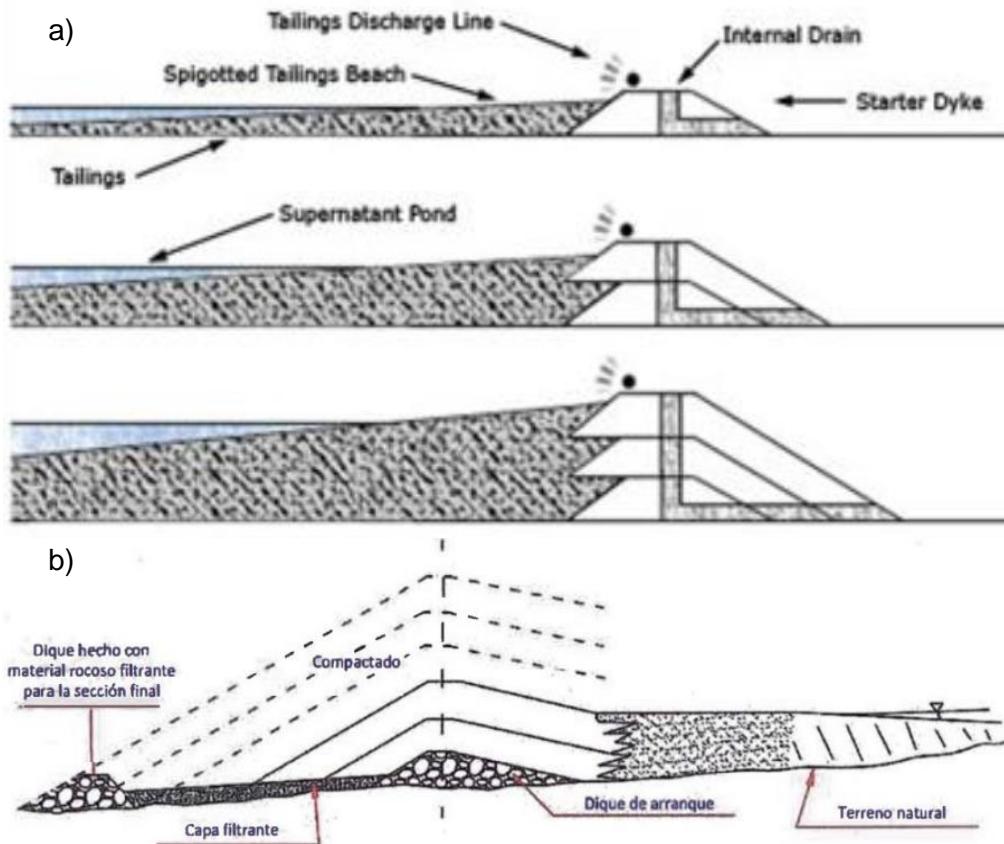


Figura N° 2.4. Método constructivo línea central

Fuente: a) Tailings.info, 2012; b) Ordoñez, 1984

Asimismo, existe una variante del método constructivo línea central, este vendría a ser el método línea central desplazada, este método cuenta con un recrecimiento del dique similar al recrecimiento con el método de línea central, pero cuenta con una prolongación de la longitud del muro de la presa aguas abajo (ver Figura N° 2.5). (Rodríguez et al., 2006).

En los países donde no se permite el trabajo de construcción aguas arriba (es decir, presas construidas en zonas sísmicas), es posible que tampoco se permita el método de construcción de la línea central modificada debido al concepto de colocar parcialmente el material de construcción en las playas de arena. (Tailings.info, 2012).

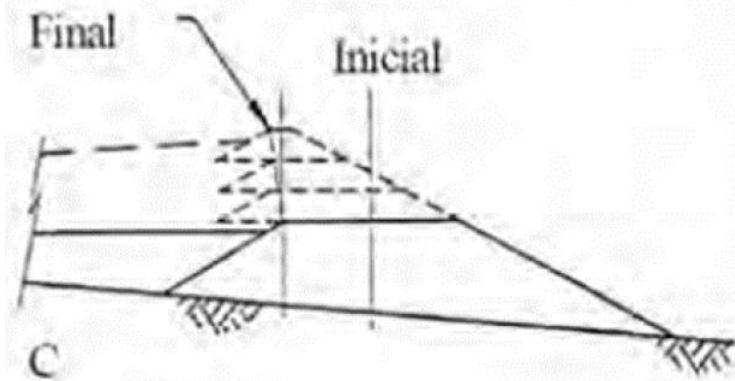


Figura N° 2.5. Método constructivo línea central desplazada

Fuente: Rodríguez et al., 2016

2.1.2 Tipos de presas según su ubicación en el terreno

Según el Boletín 45 del ICOLD (1982) se puede clasificar los diques según la ubicación en el terreno (ver Figura N° 2.5), estos pueden ser:

- Cerramiento de valle (*Cross valley*)
- Presa en ladera (*Valley side*)
- Presa en una depresión o hueco del terreno natural o artificial (*Inside impoundment*)
- Presa mixta o compleja donde se usan simultáneamente dos sitios (*Complex system, cross valley and side hill type*)

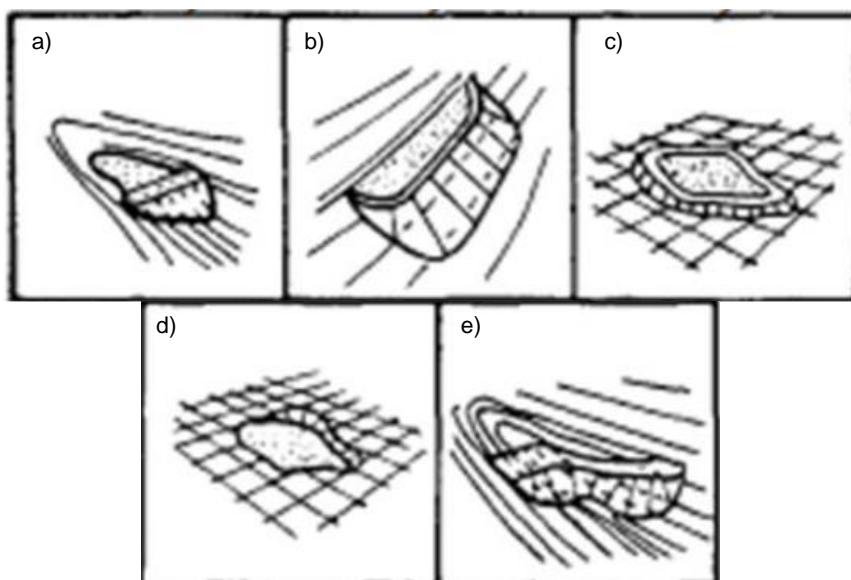


Figura N° 2.6. Esquemas de tipos de diques según a su ubicación

Fuente: ICOLD, 1982

2.1.3 Ciclos de vida en presas de relave

El ciclo de vida de la instalación de relaves comienza con la planificación y diseño, hasta llegar a la etapa de construcción y operación, siempre con la consideración de reducir el riesgo y la transición a un estado de cierre seguro después del proceso de minado. En las primeras etapas, la identificación de los sitios y las tecnologías pueden ayudarse con herramientas de evaluación de riesgos y selección de sitios. A continuación, en la Figura N° 2.7 se muestra los ciclos de vida en un depósito de relaves:

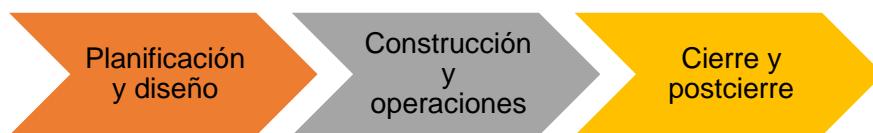


Figura N° 2.7. Ciclos de vida en un depósito de Relaves

2.1.3.1 Fase 1: Planificación y diseño

Esta fase incluye el desarrollo conceptual, la planificación, el análisis de alternativas y el diseño de la presa. El desarrollo conceptual debe considerar la ubicación general, la tecnología de relaves, la configuración y tipos de instalaciones de almacenamiento de relaves. La planificación incluye una revisión y evaluación de posibles sitios y configuraciones de presas, así como la planificación del desarrollo continuo del proyecto. En esta etapa, comienza el plan de cierre a largo plazo del depósito de relaves.

Como parte de esta fase, se completan la selección del sitio y la selección de la tecnología. Esto implica la revisión exhaustiva de todos los posibles sitios y tecnologías de relaves. Las alternativas tecnológicas incluyen principalmente tecnologías de relaves, incluyendo posiblemente el almacenamiento. Los resultados de la evaluación se comparan, y el mejor sitio y tecnología se convierten en la selección final. Una vez que se han seleccionado el sitio y la tecnología, comienza el diseño de la presa.

2.1.3.2 Fase 2: Construcción y operaciones

La segunda fase del ciclo de vida del depósito de relaves es la construcción y la operación. Esto incluye la construcción del dique de arranque, las operaciones y el recrecimiento de la presa durante la vida útil de la mina. Aquí comienza la construcción del dique de arranque.

A medida que la mina comienza sus operaciones, la construcción de la presa de relaves continúa por etapas (la presa recrece). La gestión del riesgo de estabilidad de la presa y los planes de cierre a largo plazo sigue siendo una prioridad en esta etapa, y se considerarán cambios de diseño si es necesario.

2.1.3.3 *Fase 3: Cierre y post- cierre*

Las etapas finales del ciclo de vida del depósito de relaves son el cierre y el post- cierre. Esto incluye el cierre de la instalación y, en el mejor de los casos, la transición a una forma de terreno o, en este caso, la gestión de la instalación a perpetuidad. En la etapa de post- cierre, la instalación puede permanecer de forma sostenible en un estado estable, ya sea como una forma de terreno natural o como un activo de la comunidad.

2.1.4 Criterios de diseño

Los criterios de diseño son los elementos clave de un diseño seguro. Son los requisitos o condiciones mínimas que debe cumplir la instalación de relaves. La selección de los criterios de diseño sísmico y para inundaciones se basa en la clasificación de las consecuencias de la presa determinada por un análisis de la rotura de la misma (ver **ítem 2.3**). Los criterios de diseño deben cumplir con los estándares y requisitos normativos aplicables, para ello se cuentan con organismos internacionales como CDA (*Canadian Dam Association*), ICMM (*International Council on Mining and Metals*), ANCOLD (*Australian National Committee on Large Dams*), entre otros, que recomiendan criterios en función a la clasificación de consecuencias. (Ver Tabla N° 2.1 a Tabla N° 2.5)

Los criterios de diseño sísmico y para inundaciones suelen expresarse en forma de probabilidad anual de excedencia, que se refiere a la probabilidad de que el suceso especificado se produzca en un año determinado, en la Tabla N° 2.1 y Tabla N° 2.2 se muestran los criterios de inundación y criterios sísmicos, respectivamente, recomendados por el ICMM (2020), los cuales consideran criterios según la etapa de la presa y la clasificación por consecuencias (ver **ítem 2.3.3**).

Tabla N° 2.1. Criterios de Diseño para Inundación recomendados para las etapas de operación, cierre y post- cierre

Clasificación por Consecuencias	Criterios de Inundación - Avenidas Probabilidad de excedencia anual para diseño	
	Operaciones y Cierre (Cuidado Activo)	Post- Cierre (Cuidado Pasivo)
Baja	1/200	1/10000
Significativa	1/1000	1/10000
Alta	1/2475	1/10000
Muy Alta	1/5000	1/10000
Extrema ¹	1/10000	1/10000

Fuente: Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (ICMM, 2020)

Nota: 1) Los términos PMP o CMP son conceptos aceptables para designar eventos hidrológicos para instalaciones con clasificación por consecuencia extrema y/o instalaciones en etapa de post- cierre. (ICMM, 2020)

Tabla N° 2.2. Criterios de Diseño para Sismos recomendados para las etapas de operación, cierre y post- cierre

Clasificación por Consecuencias	Criterios Sísmicos ¹ Probabilidad de excedencia anual para diseño	
	Operaciones y Cierre (Cuidado Activo)	Post- Cierre (Cuidado Pasivo)
Baja	1/200	1/10000
Significativa	1/1000	1/10000
Alta	1/2475	1/10000
Muy Alta	1/5000	1/10000
Extrema	1/10000	1/10000

Fuente: Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (ICMM, 2020)

Nota: 1) "El sismo máximo creíble (MCE) es parte de un enfoque determinístico que puede ser la regla controlante en algunas áreas. Para el diseño deberá utilizarse el método que produzca el movimiento de terreno más apropiado para la seguridad de la instalación" (ICMM, 2020).

La CDA en el boletín técnico de la guía para la aplicación de la seguridad de presas mineras, presenta los criterios recomendados para Inundación y Sismo. En la Tabla N° 2.3 se muestra los criterios a considerar para las etapas de construcción y operación según la clasificación de presa, mientras que en la Tabla N° 2.4 se presenta los criterios recomendados para la etapa de cierre pasivo (post-cierre).

Tabla N° 2.3. Criterios de Diseño recomendados para las etapas de construcción y operación

Clasificación de la Presa	Inundación	Sismos
Bajo	1/100	1/100
Significativo	Entre 1/100-1/1000	Entre 1/100 - 1/1000
Alto	1/3 entre 1/1000 y PMF	1/2475
Muy Alto	2/3 entre 1/1000 y PMF	1/2 entre 1/2475 -1/10000 o el MCE
Extremo	PMF	1/10000-MCE

Fuente: CDA, 2014

Tabla N° 2.4 Criterios de Diseño recomendados para la fase de Cierre Pasivo

Clasificación de la Presa	Inundación	Sismos
Bajo	1/100	1/100
Significativo	1/3 entre 1/1000 y PMF	1/2475
Alto	2/3 entre 1/1000 y PMF	1/2 entre 1/2475 -1/10000 o el MCE
Muy Alto	PMF	1/10000-MCE
Extremo	PMF	1/10000-MCE

Fuente: CDA, 2014

Otro organismo conocido que presenta criterios recomendados para inundaciones (avenidas) y sismo es el ANCOLD, estos criterios se detallan en la Tabla N° 2.5.

Tabla N° 2.5. Criterios de Diseño recomendados para depósitos de relaves

Clasificación por Consecuencias	Criterios Diseño		
	Avenida - Inundación	OBE	MDE
Baja	1/100	1/150	1/100
Significativa	1/1000	1/100	1/1000
Alta	1/10000	1/1000	1/10000
Extrema	PMF	1/1000	1/10000

Fuente: ANCOLD, 2012

2.1.4.1 Criterios de Diseño para Inundaciones

a. Consideraciones

El flujo de entrada de la inundación de diseño (*Inflow Design Flood, IDF*) es el evento de inundación que la instalación de relaves debe almacenar o encaminar/derivar/encauzar/laminar/atenuar con seguridad para evitar el sobrepaso o desbordamiento (*overtopping*) de la presa. El IDF se desarrolla sobre la base de probabilidades de excedencia anuales especificadas. Otras

consideraciones a tener en cuenta al desarrollar un IDF, son la duración de la inundación y las condiciones previas. El IDF puede expresarse como un volumen si no hay vertedero. Si se construye un vertedero o una estructura de salida, se realiza una evaluación del recorrido de la inundación para determinar la capacidad de atenuación de la inundación que requiere la instalación de relaves y la capacidad de flujo de salida requerida por el vertedero.

Tal como se comentó anteriormente, existen distintas guías que recomiendan los rangos de estos valores en función de la clasificación de consecuencias (Ver Tabla N° 2.1 a Tabla N° 2.5)

b. Inundación Máxima Probable

Para las instalaciones clasificadas como consecuencias extremas, según las consideraciones del ICMM, CDA y ANCOLD se utiliza la inundación máxima probable (*Probable Maximum Flood, PMF*) como el flujo de entrada de la inundación de diseño. La PMF puede definirse como la inundación que se genera al producirse condiciones meteorológicas severas e hidrológicas críticas.

La precipitación máxima probable (*Probable Maximum Precipitation, PMP*) se suele utilizar para estimar la PMF. La PMP es teóricamente la mayor lámina de precipitación para una duración determinada físicamente posible para una tormenta de tamaño determinado en una ubicación geográfica concreta. La mejor manera de estimar la PMP es basándose en las condiciones climáticas específicas del sitio y tiene una gran incertidumbre. Los conceptos de PMP y PMF son aceptables para asignar la carga de la inundación si cumplen o superan los requisitos para las instalaciones con la clasificación de consecuencias extrema.

2.1.4.2 Criterios de Diseño Sísmico

Los criterios de diseño sísmico son necesarios para mantener la integridad de la presa durante el evento de diseño sísmico. Algunas consideraciones incluyen:

- La magnitud del sismo y la proximidad a la presa;
- Las aceleraciones máximas del suelo asociadas y la respuesta sísmica de la presa.

Desde la Tabla N° 2.2 a Tabla N° 2.5 se muestran los criterios de diseño sísmico para cada clasificación de consecuencias de acuerdo a distintas guías

internacionales. Al igual que los criterios de diseño para inundaciones, existe una diferencia entre el cuidado activo y el cuidado pasivo.

2.1.4.3 Factores de Seguridad

La evaluación de la estabilidad de los taludes es un elemento clave de la evaluación de la seguridad de las presas de relaves. El factor de seguridad (Factor of Safety, FoS) es una relación que representa la capacidad de resistencia de una estructura en relación con las condiciones de carga. Los criterios del FoS se utilizan para tener en cuenta la incertidumbre, basándose en la experiencia histórica con el análisis del equilibrio límite. En la Tabla N° 2.6 se muestra los FoS mínimos previstos para las resistencias máximas estáticas drenadas y no drenadas y para las resistencias post- sísmicas o residuales recomendadas por algunas guías internacionales (CDA, ANCOLD) y normas locales (N.T. E.050 Suelos y Cimentaciones).

Tabla N° 2.6. Factores de Seguridad mínimos recomendados

Condición de Análisis	CDA	ANCOLD	Norma Peruana
Estático	1.5	1.5	1.5
Pseudo - estático	1	1	1
Post-Sismo	1.2	1-1.2	

2.1.4.4 Criterios Ambientales

Los criterios ambientales son importantes durante la planificación del diseño, funcionamiento y cierre de las instalaciones para proteger el medio ambiente. Los criterios para la tasa de filtraciones permitidas se basan en la geoquímica de los relaves y en la capacidad del ambiente receptor para asimilar las filtraciones de la instalación de almacenamiento de relaves. Los criterios de infiltración son necesarios para el diseño de los elementos de control de las filtraciones en la presa, la cimentación y el embalse. Los criterios de descarga de las aguas superficiales son necesarios para determinar las necesidades de almacenamiento de las inundaciones en el medioambiente y las posibles necesidades de tratamiento de agua.

2.1.4.5 Criterios de Operación

Deben establecerse criterios de operación para garantizar que se realicen controles críticos y de monitoreo. Por ejemplo, los controles preventivos desarrollados para los posibles modos de falla deben revisarse y supervisarse durante toda la vida útil de la instalación de relaves.

- Plan de disposición de Relaves - La sección plan de disposición incluye detalles de la producción de relaves, la densidad de los relaves, el tonelaje almacenado y el volumen almacenado para la etapa actual de funcionamiento de la presa, así como la altura actual de la presa.
- Balance de Agua - La sección Balance de Agua incluye los detalles del uso del agua y distribución, es aquí donde se debe de considerar todos los ingresos y salidas de agua que involucre el depósito de relaves.

2.1.5 Estadísticas de Componentes Mineros en el Perú

En el Perú, OSINERGMIN es el organismo encargado de la supervisión de la inversión en energía y mina, como parte de este organismo se cuenta con la Gerencia de Supervisión Minera (GSM), el cual cumple con el propósito de supervisión y fiscalización agrupada en 2 divisiones técnicas:

- División de Supervisión de la Gran Minería (DSGM)
- División de Supervisión de la Mediana Minería (DSMM).

En la Tabla N° 2.7 se muestra la cantidad de empresas y unidades mineras supervisadas por este organismo, estas cantidades han sido agrupadas en la mediana y gran minería.

Tabla N° 2.7. Empresas y Unidades Mineras Supervisadas en el Perú

	Empresas Supervisadas	Unidades Mineras
Gran Minería	35	56
Mediana Minería	38	45
Total	73	101

Fuente: Data actualizada a octubre 2020 (GSM – Osinergmin)

En la Tabla N° 2.8 se muestra la cantidad de componentes mineros supervisados por el Osinergmin, de acuerdo a la base de datos de la GSM se cuenta con 95

depósitos de relaves operativos que representa 34% del total de componentes supervisados.

Tabla N° 2.8. Componentes mineros operativos supervisados de la Mediana y Gran Minería en el Perú

	Depósitos de relaves	Tajos abiertos	Pilas de Lixiviación	Depósitos desmonte	Total, por tipo de Minería
Gran Minería	45	50	30	66	191
Mediana Minería	50	9	0	27	86
Total, por tipo de componente	95	59	30	93	277

Fuente: Data actualizada a octubre 2020 (GSM – Osinergmin)

En la Tabla N° 2.9 se muestra la cantidad de depósitos de relaves supervisado en la gran y mediana minería del Perú. Se tiene registrado 95 depósitos de relaves operativos y 109 depósitos de relaves en cierre haciendo un total de 204 depósitos de relaves en total, estos están divididos entre la gran minería (86) y la mediana minería (118).

Tabla N° 2.9 Depósitos de relaves de la Mediana y gran Minería del Perú

	Relaveras en Operación	Relaveras en Cierre	Total
Gran Minería	45	41	86
Mediana Minería	50	68	118
Total	95	109	204

Fuente: Data actualizada a octubre 2020 (GSM – Osinergmin)

2.2. RELAVES

Los relaves mineros se definen como productos de desecho de los procesos de extracción y transformación de minerales que consisten en fases sólidas, líquidas y gaseosas (vacíos), estos materiales en función de sus propiedades o características físicas y químicas, deben someterse a diversos tratamientos para su transporte y posterior disposición en los depósitos de relaves. (ATG, 2021)

En la Figura N° 2.8 se muestra las principales características de los tipos de relaves.



Figura N° 2.8. Tipos de Relaves y características principales

Fuente: Ministerio de Minas y Energía - ATG – Colombia (2021)

2.2.1 Relaves fluidos o pulpa

Las pulpas o lodos mineros de relaves son la mezcla entre agua y el residuo después generado después del procesamiento de los minerales extraídos durante la explotación. En su mayoría, estos relaves están constituido con menos del 45% de contenido de sólidos (C.S.), esto facilita el transporte mediante un bombeo (bombas centrifugas) desde la planta de procesamiento de mineral hasta el depósito de relaves. La disposición de relaves se realiza mediante puntos de descarga (*spigots*), donde se forma una playa con una pendiente entre el dique y la laguna sobrenadante (*pond*). Estos relaves generalmente se disponen con

pendientes de playa menores a 1% desde el punto de descarga hacia la laguna sobrenadante. Cuanto mayor sea la densidad de relaves, más pronunciada podrá ser la pendiente de la playa. (De la Cruz, 2017).

En la Figura N° 2.9 se muestra una relavera operativa en el Perú donde se depositan relaves en pulpa.

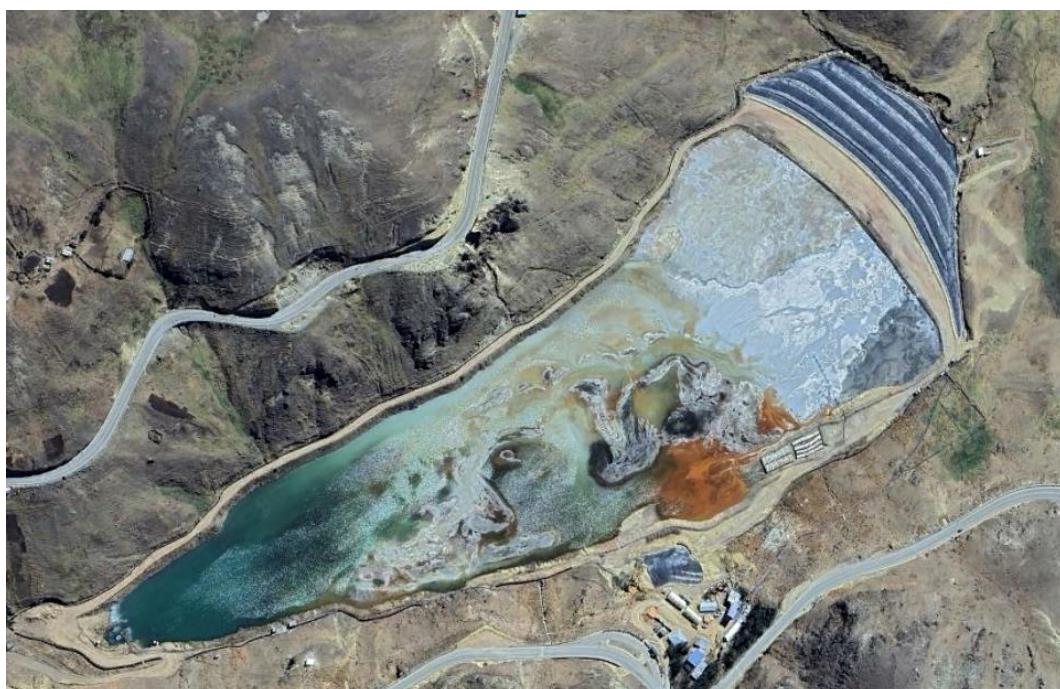


Figura N° 2.9. Vista en Planta del Depósito de Relaves en Pulpa de la Unidad Minera Julcani
(Huancavelica, Perú)

Fuente: Imagen tomada del Google Earth (2023)

2.2.2 Relaves espesados

Estos relaves cuentan con contenido de sólidos mayores que los relaves en pulpa. Su contenido de sólidos puede estar comprendido entre un 45 a 65% (valores típicos en estos tipos de relaves), y al igual que los relaves en pulpa, también pueden ser transportados por bombeo. Los relaves espesados pasan por un proceso de deshidratación para lograr el rango de contenido de sólidos necesario para ser depositados, estos relaves se disponen típicamente en una forma cónica desde un punto de descarga, esta disposición puede contar con pendientes más pronunciadas (entre 1.75% a 6%) debido a su mayor contenido de sólidos. (De la Cruz, 2017)

En la Figura N° 2.10 se muestra una imagen satelital de una relavera donde se depositan relaves espesados.

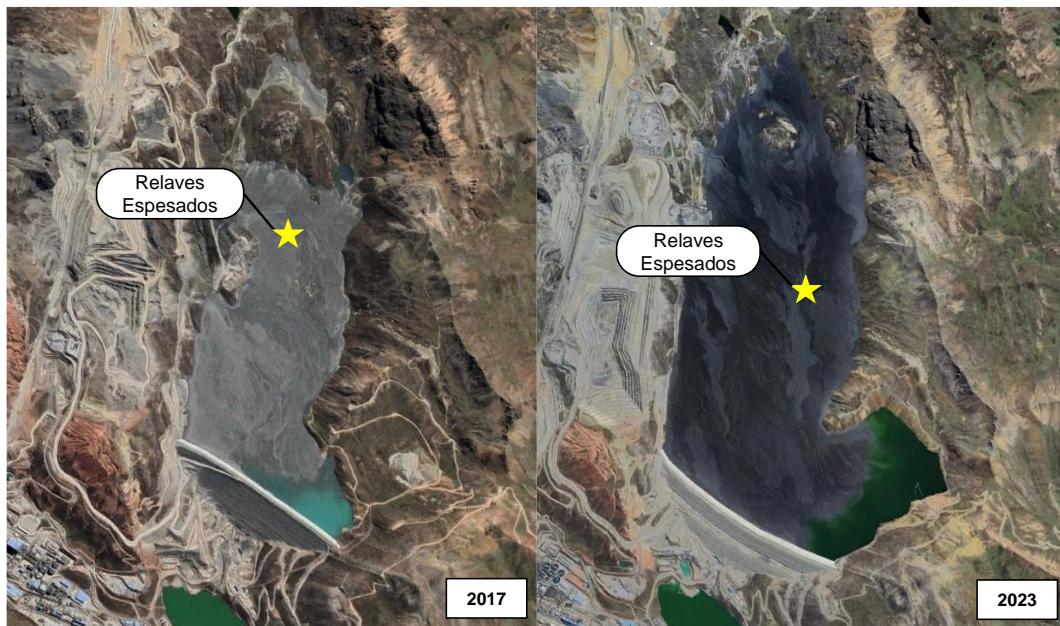


Figura N° 2.10. Vista en Planta del Depósito de Relaves espesados Toromocho (Junín - Perú)

Fuente: Imagen tomada del Google Earth (2023)

2.2.3 Relaves en pasta

Los residuos en pasta tienen un contenido de sólidos más alto que los relaves espesados y, por lo tanto, mayor que los relaves en pulpa. El porcentaje de contenido de sólidos en estos relaves se encuentran en un rango entre 65 a 70% (valores típicos en relaves en pasta). La deshidratación del material de los relaves se lleva a cabo en un espesador de cono profundo de alta velocidad. Los aditivos (floculantes y coagulantes) generalmente se agregan a los relaves con la finalidad de lograr densidades más altas. Tienen una consistencia similar a la de una pasta de dientes, por lo que es difícil transportar con bombas centrifugas, pero puede transportarse con una bomba de desplazamiento positivo. Respecto a las pendientes de disposición estas pueden estar en un rango desde 2% a 10% (De la Cruz, 2017). En la Figura N° 2.11 se muestra una vista en planta de un depósito con relaves en pasta.



Figura N° 2.11. Depósito de relaves Minera Aitos de Punitaqui (Chile)

Fuente: Imagen tomada del Google Earth (2022).

2.2.4 Relaves filtrados

Los relaves filtrados tienen un contenido más alto que el relave en pasta. El porcentaje de contenido de sólidos se encuentra en un rango entre 80% a 85% (valores típicos para relaves filtrados). Se produce mediante filtración a presión o por vacío y para lograr un alto contenido de sólidos y bajo contenido de agua se debe considerar la clasificación de partículas. Los relaves filtrados se depositan, distribuyen y compactan para formar montículos de relaves densos y no saturados. Estos relaves pueden ser tratados como material para relleno, es por ello que se debe de asegurar su compactación para lograr una estabilidad del material filtrado (De la Cruz, 2017). En la Figura N° 2.12 se muestra una vista en planta de depósitos de relaves filtrados.



Figura N° 2.12. Depósito de relaves filtrados en Unidad Minera Cerro Lindo (Ica, Perú).

Fuente: Imagen tomada del Google Earth

2.3. TAILING DAM BREACH ANALYSIS (TDBA)

Los TDBA o Análisis de Roturas de Presas de Relaves se utilizan para predecir los impactos potenciales de la falla de una presa. Estos análisis sirven para elaborar planes y medidas de contingencias, así como planes de respuestas de emergencias, apoyan los estudios de impacto ambiental para la construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves, apoyan en la planificación de mitigación de fallas, identifican pérdidas potenciales en el medio ambiente, pérdidas económicas y su clasificación según sus posibles consecuencias, entre otros (CDA, 2021).

En la actualidad existen algunos casos históricos conocidos alrededor del mundo, entre los más recientes se tiene, en Brasil, la falla del depósito de Relaves Brumadinho en el 2019 (ver Figura N° 2.13), movilizando alrededor de 12 Mm³ por el cauce del río Paraopeba, este evento tuvo consecuencias catastróficas donde hubieron pérdidas de vidas de alrededor 270 personas, es a raíz de ello que el Consejo Internacional de Minería y Metales, llevo a cabo una revisión global de la gestión de relaves, para adoptar elementos clave de gestión con la finalidad de minimizar riesgos de fallas.

Otros eventos que marcaron un hito importante en el análisis de roturas de presas fueron los sucedidos en el año 2014 y 2015 (Ver Figura N° 2.13), en el primero de ellos se originó la falla del depósito de relaves Mount Polley en Canadá donde se vertió 25 Mm³ de relaves a los lagos Quesnel y Polley, generando un impacto ambientalmente grave. El otro hito corresponde a la falla del depósito de relaves Fundao, propiedad de Minera Samarco (Mariana), donde un 5 de noviembre del 2015 se produjo el desplazamiento de 32 Mm³ de relaves por el Río Doce, en su recorrido se produjo la pérdida de 18 vidas humanas en Minas Gerais – Brasil.

Por otro lado, en el Perú no es desconocido estos tipos de eventos, en el 2022 se produjo el derrame de relaves en la unidad minera san francisco, La rinconada (Puno), también son conocidos los casos de la falla en la unidad minera cobriza en el 2019 (Huancavelica), el depósito de relaves N°2 de la compañía minera Lincuna en el 2018 (Huaraz), la falla del depósito de relaves en la unidad minera Huachocolpa en el 2010 (Huancavelica), entre otros.



Figura N° 2.13. Casos de Fallas históricas de presas de Relaves.

Fuente: Osinergmin (2020)

2.3.1 Procesos para Análisis de Rotura de Presas

Los procesos físicos que ocurren durante la ruptura de una presa de relaves y los impactos aguas abajo dependen de si el depósito de relaves tiene una laguna sobrenadante y su ubicación en relación con la presa. El enfoque y la organización del procedimiento de un análisis de rotura lo presenta la CDA en su Boletín técnico (TDBA-CDA2021), estos procedimientos o pasos se ilustran en la Figura N° 2.14.

Como primer paso se tiene a la definición de objetivos y alcance, se tiene que tener en cuenta que un análisis de rotura de presas se puede realizar con la finalidad de clasificar la presa, elaborar planes y respuesta a emergencia, análisis de riesgos de la presa, entre otros. Estos objetivos y alcances deben ser bien definidos para obtener los resultados que se requieran.

Posterior a ello se tiene que revisar la información relevante existente, para así definir los modos de fallas creíbles y escenarios de evaluación, continua con la caracterización reológica, donde se tendrán en cuenta parámetros de esfuerzo de fluencia y viscosidad. Luego, se realiza o verifica el análisis hidrológico, esto con el fin de analizar el comportamiento de la cuenca tanto aguas arriba como aguas

abajo del dique. Más adelante, se definirá que tipo de caso del TDBA se cuenta, según el TDBA se tiene 4 casos (Caso 1A, Caso 1B, Caso 2A, Caso 2B) se deberá de seleccionar el escenario correspondiente. Luego se lleva a cabo el análisis de brecha donde se determina el volumen desplazado según las características de la brecha, posterior a ello se realiza el modelamiento numérico considerando el volumen total movilizado, para finalizar, se deberá de elaborar los mapas de inundación y reportar los resultados del TDBA. Como parte del análisis del TDBA se requiere conocer los escenarios de fallas creíbles, es por ello que también surge la necesidad de contar con una metodología para poder clasificar las fallas creíbles y realizar su análisis de rotura de presas.

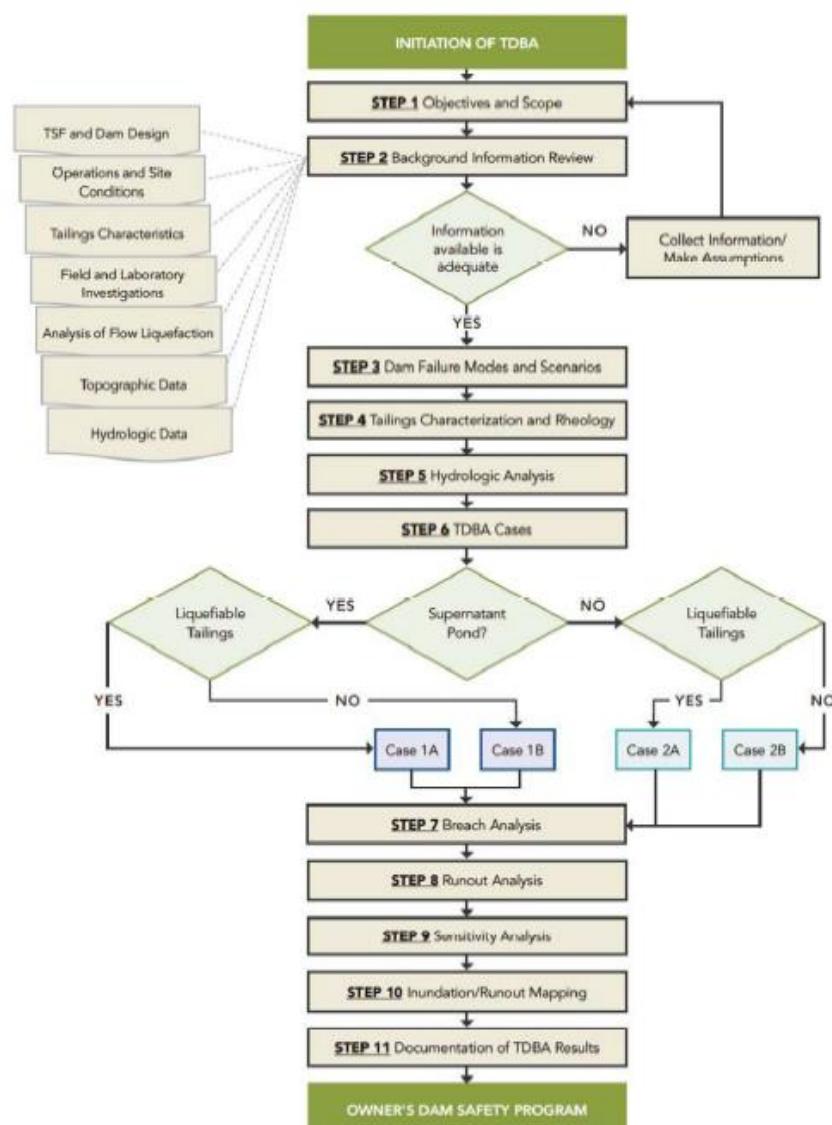


Figura N° 2.14. Pasos recomendados para la elaboración de una rotura de presa

Fuente: CDA (2021)

2.3.2 Mecanismos de Falla

Un modo de falla en la cual la presa se rompe, en efecto, falla es una combinación de: un evento desencadenante, un mecanismo de falla y, en última instancia, una rotura de la presa. Un evento desencadenante podría ser causado por una carga externa (por ejemplo, un terremoto o un evento de lluvia extrema) o por una debilidad interna / estructural o de la cimentación. Un mecanismo de falla es el evento que podría conducir a una rotura de la presa, pero no necesariamente tiene que hacerlo. Por ejemplo, las presas de tierra pueden experimentar un mecanismo de falla de sobrepaso o desborde limitado, que puede no ocasionar la falla o rotura total de la presa o perder el contenido total almacenado. De manera similar, las presas de tierra pueden experimentar inestabilidades causando deformaciones, que pueden estar localizadas o no ser lo suficientemente grandes para descargar parte de la laguna de operación y el contenido almacenado. La condición última en el contexto de la TDBA es una rotura física de la presa y la liberación parcial de los contenidos almacenados. (CDA, 2021)

Se requiere una revisión de los posibles modos de falla de la presa que resultan en los procesos de ruptura para definir los escenarios de falla de la presa para el TDBA. Se debe completar un análisis de modos y efectos de falla (FMEA), o uno similar, que respalde la selección de posibles ubicaciones de brecha y escenarios de falla. (CDA, 2021)

Las pautas de seguridad de la presa de CDA (2007, revisadas en 2013) definen un modo de falla como “el modo en el que fallan los elementos de los componentes, causando una pérdida de la función del sistema”. A nivel general, hay tres modos de falla de presas o modos globales de falla.

- Colapso por pérdida de resistencia, donde la resistencia interna a las fuerzas aplicadas es inadecuada
- Desbordamiento o Sobrepujo, donde el agua fluye sobre la cresta de la presa o sobrepasa, hacia aguas abajo.
- Filtraciones contaminadas: el fluido contaminado se escapa al medio ambiente natural.

Desbordamiento y colapso por pérdida de resistencia son modos de falla que pueden conducir a la pérdida de contenido almacenado debido a una ruptura física

de una presa de relaves, mientras que la filtración contaminada no conduce a una ruptura física de una presa (CDA,2021). Aunque es un modo de falla importante para las presas de relaves, la filtración contaminada se encuentra excluida en la presente propuesta de metodología para escenarios de falla.

Un resumen de las fallas pasadas de presas de relaves se proporciona en el Boletín ICOLD 121 (2001), y otras literaturas o fuentes en línea (por ejemplo, Rico et al. 2008, Concha y Lall 2018, Quelopana 2019, WISE Uranium 2023, entre otros). Estas literaturas o fuentes de datos de fallas de presas clasifican los modos de falla según lo evaluado en el ICOLD 2001, que comprenden 8 modos de falla; sin embargo, en el 2011 el ICOLD considera solo 2 modos de fallas globales que involucran a estos 8 modos de falla.

Los modos de falla global considerados por el ICOLD (2011) y CDA (2016) son:

Mecanismos de falla que conducen al colapso por pérdida de resistencia.

- Inestabilidad bajo cargas aplicadas
- Falla de la fundación
- Falla de licuefacción
- Erosión superficial
- Tuberías y erosión interna
- Estanqueidad

Mecanismos de falla que conducen al desbordamiento:

- Mantenimiento insuficiente del borde libre.
- Capacidad del aliviadero insuficiente
- Capacidad instalada de descarga inadecuada.
- Asentamiento de la cresta durante condiciones normales de operación debido a inestabilidad global, evento sísmico, deficiencias en la construcción o cimientos comprimibles.

2.3.3 Clasificación de Presas de Relaves

La clasificación de presas se realiza siguiendo los lineamientos planteados por organismos internacionales relacionados a la gestión de relaves, entre los más

conocidos se cuenta con el ICMM (Ver Tabla N° 2.10), CDA (ver Tabla N° 2.11) y ANCOLD (ver Tabla N° 2.12).

Según las guías internacionales, las clasificaciones de presas están relacionadas a las consecuencias de falla. Estas guías clasifican las presas en función de las consecuencias, para ello se elabora una cuantificación de daños, en la cual estiman “consecuencias incrementales y/o totales”. Las “consecuencias incrementales” están definidas como los daños de un evento con falla del depósito de relaves menos los daños que resulten del mismo evento sin la falla del depósito de relaves. Las “consecuencias totales” son los daños producidos por el evento. El criterio de “consecuencia incremental” es importante de acuerdo a la condición hidrológica que se analice (*Sunny Day* o *Rainy Day*), según:

- **Consecuencias de Falla condición *Sunny Day*:** Para este tipo de falla por lo general las consecuencias incrementales son similares a las consecuencias totales. Por ejemplo, si una presa falla después de un sismo, las consecuencias totales (las cuales son igual a las consecuencias incrementales) pueden ser considerables.
- **Consecuencias de Falla condición *Rainy Day*:** Se debe comparar las consecuencias de áreas inundadas con la avenida de diseño (IDF) con falla de la presa menos las consecuencias de solo la avenida de diseño (IDF) o de evento natural.

La cuantificación de los daños se realiza teniendo en cuenta parámetros de valoración según las guías con las que se esté elaborando la clasificación, es decir, si se requiere cuantificar según los criterios de la CDA, se tiene que evaluar las pérdidas incrementales en la población de riesgo, pérdida de vidas, valores culturales y ambientales y por último economía e infraestructura (ver Tabla N° 2.11). Del mismo, si la clasificación de consecuencia se desarrolla de acuerdo al Estándar Industrial Global para la Gestión de Relaves (ICMM, 2020 – ver Tabla N° 2.10). Se tendrá que cuantificar la Población Potencial en Riesgo (PAR, *Population At Risk*), la pérdida potencial de vidas (PLL, *Potential Loss of Life*), daños ambientales, daños a la salud, social y cultural, daños a la infraestructura y Economía. En la Tabla N° 2.10, Tabla N° 2.11 y Tabla N° 2.12 se muestran las consideraciones a tomar en cuenta para clasificación de consecuencias según ICMM, CDA y ANCOLD, respectivamente.

Tabla N° 2.10. Clasificación de consecuencias según ICMM

Clasificación	Perdidas Incrementales				
	Población potencial en riesgo	Pérdida potencial de vidas	Medio Ambiente	Salud, ámbito cultural y social	Infraestructura y economía
Baja	Ninguna	Ninguna esperada	A corto plazo, mínima pérdida o deterioro de hábitat o de especies raras y en peligro de extinción.	Efectos mínimos e interrupción ligera de las actividades económicas y medios de subsistencia. Ningún efecto medible sobre la salud humana. Ninguna alteración del patrimonio, o los bienes comunitarios, culturales o recreativos.	Pérdidas económicas bajas; el área contiene escasa infraestructura o servicios. (<USD 1M)
Significativa	1 – 10	Sin especificar	Ninguna pérdida o deterioro de hábitat significativos. Relaves sin potencial generación de ácido y con bajo potencial de lixiviación neutra. Restauración posible (1 a 5 años).	Interrupción significativa de actividades económicas y servicios. Baja probabilidad de pérdida de patrimonio o bienes comunitarios, culturales o recreativos regionales. Baja probabilidad de efectos en la salud.	Pérdidas en instalaciones recreativas, lugares de trabajo estacionales y rutas de transporte de uso poco frecuente. (<USD 10M)
Alta	10 – 100	Possible (1-10)	Significativa pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Agua de proceso moderadamente tóxica. Área potencial de impacto (10 - 20 km ²). Restauración posible (difícil, > 5 años).	500-1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios. Perturbación del patrimonio regional, de los bienes comunitarios o culturales, instalaciones recreativas. Posibilidad de efectos en la salud humana a corto plazo.	Grandes pérdidas económicas que afectan la infraestructura, el transporte público, las instalaciones comerciales o el empleo. Moderada reubicación o indemnización a las comunidades. (<USD 100M)
Muy Alta	100 - 1000	Probable (10-100)	Importante pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto (>20 km ²). Restauración o indemnización posible, pero muy difícil, requiere un largo periodo (5 a 20 años).	>1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, destrucción de patrimonio nacional, de instalaciones comunitarias o bienes culturales. Posibilidad de efectos significativos en la salud humana a largo plazo.	Pérdidas económicas muy grandes, que afectan a importantes obras de infraestructura o servicios (autopistas, instalaciones industriales). Importante reubicación/ compensación para las comunidades. (<USD 1B)
Extrema	> 1000	Mucho (más de 100)	Pérdida catastrófica de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto >20 km ² . Imposible restauración o compensación en especie, se requiere de un largo periodo (>20 años).	>5000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, destrucción de patrimonio o de instalaciones comunitarias o bienes culturales a nivel nacional. Posibilidad de efectos graves en la salud humana y/o a largo plazo.	Pérdidas económicas extremas que afectan la infraestructura o los servicios críticos (hospitales, complejos industriales importantes). Reubicación/compensación muy importante a las comunidades y costos de reajuste social muy altos. (>USD 1B)

Fuente: ICMM (2020)

Tabla N° 2.11. Clasificación de Consecuencias según CDA

Clasificación por consecuencias de fallas de presas	Perdidas Incrementales			
	Población potencial en riesgo	Pérdida potencial de vidas	Valores Culturales y Ambientales	Económica e Infraestructura
Baja	Ninguna	0	Pérdidas mínimas de corto plazo. No hay pérdidas de corto plazo.	Bajas pérdidas económicas, áreas con infraestructura o servicios limitados.
Significativa	Temporal únicamente	No especificado	Pérdidas no significativas o deterioro del hábitat de peces y de vida salvaje. Pérdida marginal del hábitat únicamente. Restauración y compensación altamente posible.	Pérdida de instalaciones recreacionales, sitios estacionales o rutas de transporte de uso no frecuente.
Alta	Permanente	10 o menos	Pérdidas significativa o deterioro crítico del hábitat de peces y vida salvaje. Restauración y compensación posible pero no práctico.	Pérdidas económicas altas, afectando infraestructura, transporte público, e instalaciones comerciales
Muy Alta	Permanente	100 o menos	Pérdida significativa o deterioro crítico del hábitat salvaje y de vida salvaje. Restauración y compensación posible pero no práctico.	pérdidas económicas muy altas, afectando infraestructura o servicios importantes (por ejemplo carreteras, instalaciones industriales, instalaciones de depósitos de sustancias peligrosas).
Extrema	Permanente	Más de 100	Pérdidas mayor del hábitat de peces y de vida salvaje. Restauración y compensación imposible,	Pérdidas extremas afectando críticamente las infraestructuras o servicios importantes (por ejemplo, hospitales, complejos industriales e instalaciones de depósitos de sustancias peligrosas).

Fuente: CDA, 2014

Tabla N° 2.12. Clasificación de consecuencias según ANCOLD

Tipo Daño	Bajo	Medio	Alto	Catastrófico
Infraestructura (Presas, Viviendas, comercio, comunidades)	<\$10 M	\$10M-\$100M	\$100M-\$1B	>\$1B
Importancia del negocio	Algunas restricciones	Impactos Significativos	Severo a Paralizante	Disolución del negocio, quiebra.
Salud Pública	<100 personas afectadas	100-1000 personas afectadas	<1000 personas afectadas durante un mes	>10000 personas afectadas durante más de un año
Dislocación social	<100 personas <20 meses laborales	100-1000 personas o 20-2000 meses laborales	>1000 personas o >200 meses laborables	>10000 personas o numerosos fracasos comerciales
Área de Impacto	<1 km ²	<5 km ²	<20 km ²	>20 km ²
Duración de Impacto	<1 año	<5 años	<20 años	>20 años
Impacto en el medio ambiente natural	Daño limitado a elementos de bajo valor de conservación (ejem, tierras degradadas o despejadas, arroyos efímeros, flora y fauna no amenazadas). Remediación Posible	Efectos significativos en el suelo rural, la flora y la fauna. Efectos limitados en: a)Elementos del patrimonio natural, local y estatal. B) Flora y fauna autóctonas dentro de reservas forestales, acuáticas y de conservación, o reconocidos.	Efectos rurales extensivos. Efectos significativos en el sistema fluvial y las áreas A y B.: C) Elementos del patrimonio natural nacional o mundial. D) Flora y fauna nativa dentro de parques nacionales, áreas silvestres reconocidas.	Afecta ampliamente las áreas A y B. Afecta significativamente las áreas C y D. La remediación involucra ecosistemas significativamente.

Fuente: ANCOLD, 2012

En la actualidad, en el Perú no se cuenta con algún estándar o guía para clasificar los depósitos de relaves; sin embargo, la GSM como parte de Osinergmin, vienen promoviendo la aplicación de estándares internacionales como ingeniería especializada en la gestión y operación de depósitos de relaves, según esto, la GSM da a entender que se deberían de considerar los criterios de clasificación mostrados desde la Tabla N° 2.10 a la Tabla N° 2.12.

Por otro lado, el ANA aprobó “el reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua”, donde plantea una clasificación de acuerdo a las consecuencias, se dividen en categoría A, Categoría B y Categoría C (ver Tabla N° 2.13). A diferencia de las guías internacionales, relacionadas a presas de relaves, consideran menos parámetros de evaluación y dividen sus clasificaciones en solo 3 niveles (CDA e ICMM consideran 5 niveles, desde bajo hasta extremo).

Tabla N° 2.13. Clasificación de presas de agua según el riesgo potencial

Categoría	Descripción
A	Corresponde al caso de las presas cuya rotura o pésimo funcionamiento pueda afectar muy gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, produciendo la perdida de numerosas vidas humanas o perjuicios ambientales desastrosos, así como daños materiales catastróficos (en viviendas, tierra de cultivo, establos, granjas, infraestructura vial, etc.).
B	Corresponde al caso de las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueda ocasionar daños materiales o ambientales importantes, pero no catastróficos, o afectar a un número no muy grande de: viviendas, tierras de cultivo, establos, granjas, caminos, puentes, etc. produciendo la perdida de algunas vidas humanas.
C	Corresponde al caso de las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueda ocasionar daños materiales de moderada importancia y de ninguna manera, la perdida de vidas humanas.

Fuente: Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua (ANA, 2019)

2.4. RIESGO

2.4.1 Conceptos Básicos de Riesgo

“Es el resultado de una evaluación, generalmente probabilística, que supone que las consecuencias o efectos de que una determinada amenaza exceda los valores prefijados” (Pérez et al., 2013, pág.30)

El concepto de riesgo incluye dos componentes: un estado incierto de conocimiento acerca de la ocurrencia de un evento y los efectos adversos producidos por el evento en caso de producirse. Expresado de manera más simple el riesgo puede mostrarse como:

Riesgo = Ocurrencia x Severidad

2.4.1.1 *Peligro*

El peligro o amenaza natural es el grado de exposición de un lugar o emplazamiento a los fenómenos naturales dentro de un periodo determinado; independientemente de lo que se construya sobre dicha ubicación. (Kuroiwa, 2002)

“El peligro, es la probabilidad de que un fenómeno, potencialmente dañino, de origen natural, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un período de tiempo y frecuencia definidos”. (CENEPRED, 2015, pág. 20)

2.4.2 Gestión de Riesgos

La gestión de riesgos en toda la industria minera debe aplicarse a todos los aspectos del ciclo de vida de la mina, incluida la extracción, el procesamiento y la administración de productos minerales y metálicos. La Gestión de riesgos proporciona un marco genérico para establecer el contexto e identificar, analizar, evaluar, tratar, monitorear y comunicar riesgo, estos consideran y describen los riesgos más comunes que afectan a la industria minera dentro del control de la gestión del sitio. (*Risk Management* - MCA, 2022)

2.4.3 Modelos de Riesgo

“El primer paso para la confección de un modelo de riesgo es definir su arquitectura. Al definir la arquitectura se decide que variables se van a incluir en el modelo y cuáles van a ser sus relaciones. Además, en función de los modos de fallas que se hayan planteado durante la identificación y caracterización de los mismos, será necesario un modelo de riesgo para cada uno de los escenarios de solicitud que se vayan a estudiar”. (SPANCOLD, 2013, pág. 31)

A continuación, se describen algunos modelos y herramientas de evaluación de riesgo.

2.4.3.1 *Matriz de Riesgos*

Una matriz de riesgos es quizás la herramienta más utilizada por los profesionales de la gestión de riesgos. Perfecto para aquellos que prefieren una presentación visual a un sinfín de datos. (Kantan, 2023)

La Matriz de riesgo utiliza suposiciones probadas sobre eventos, asigna valores numéricos a los niveles de riesgo y grafica los resultados por severidad del impacto y probabilidad de ocurrencia.

El color es muy importante en la matriz de riesgos. Estos indican si el riesgo es aceptable, debe mitigarse o eliminarse. Las matrices de riesgo a menudo usan colores llamativos y símbolos únicos para indicar diferentes eventos. (Kantan, 2023)

En la Tabla N° 2.14 se muestra un ejemplo de matriz de riesgo, dicha matriz se encuentra en el anexo 7 del decreto Supremo D.S. N°023-2017E.M. donde se evalúa el riesgo considerando la severidad y la probabilidad de ocurrencia.

Tabla N° 2.14. Matriz Básica de Evaluación de Riesgos

SEVERIDAD	Catastrófico	1	1	2	4	7	11
	Mortalidad	2	3	5	8	12	16
	Permanente	3	6	9	13	17	20
	Temporal	4	10	14	18	21	23
	Menor	5	15	19	22	24	25
		A	B	C	D	E	
		Común	Ha sucedido	Podría suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda	
FRECUENCIA (OCURRENCIA)							
LEYENDA: RIESGO	ALTO		MEDIO		BAJO		

Fuente: Anexo7, D.S. N°023-2017-EM

2.4.3.2 Bowtie

El uso del análisis *Bowtie* es una herramienta poderosa para comprender el riesgo y controlarlo. Esta forma de análisis también identifica controles críticos que requieren monitoreo e informes regulares. El análisis *Bowtie* se utiliza para mostrar el riesgo al mostrar varias causas posibles y sus consecuencias (Kantan, 2023). Esto es muy útil cuando la complejidad de los eventos potenciales no requiere la complejidad de la toma de decisiones, pero sí desea garantizar las barreras de control para cada ruta que conduce a la falla.

La Figura N° 2.15 muestra un *Bowtie* simplificado que considera la vinculación con controles del sistema de gestión de seguridad. El evento no deseado que se

analiza se muestra en el centro del *Bowtie* (también conocido como el "nudo"). Las amenazas que podrían conducir al evento no deseado se muestran en el lado izquierdo del nudo junto con las medidas de control que detienen (previenen o reducen) la probabilidad de que ocurra el evento no deseado. Las consecuencias que pueden resultar del evento no deseado se muestran en el lado derecho del nudo junto con las medidas de control necesarias para minimizar la gravedad de las consecuencias. (MCA, 2022)

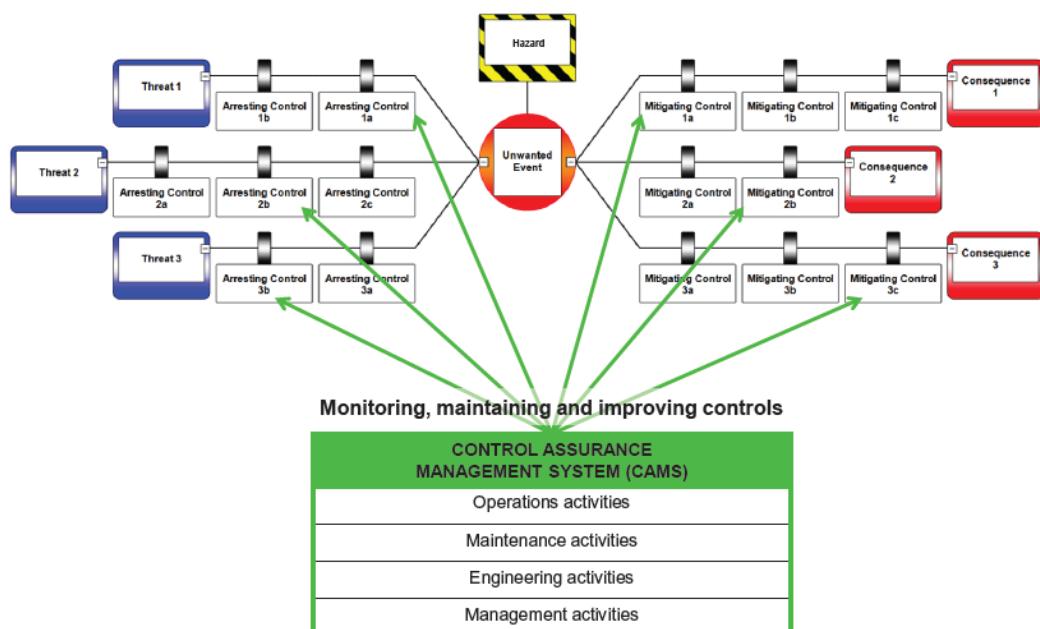


Figura N° 2.15. Diagrama básico Bowtie con vínculos de controles

Fuente: Minerals Council of Australia (MCA, 2022)

2.4.3.3 Failure Mode Effects Analysis – FMEA

Esta herramienta se utiliza en muchas industrias como parte de los sistemas de gestión de calidad para evaluar estructuras y procesos existentes y nuevos.

La FMEA es un proceso lógico, paso a paso, para identificar los potenciales modos de falla (PFM) y evaluar sus causas y efectos en los sistemas o procesos antes de que ocurra un evento de evaluación de riesgos no deseado. En los depósitos de relaves, se pueden identificar los PFM's y caracterizar sus riesgos para guiar y priorizar nuevos estudios, introducir nuevos criterios de diseño e implementar medidas de mitigación y contramedidas en etapas específicas. (Mantillan, 2023)

Como parte de la aplicación de esta herramienta, se debe de identificar el componente o indicador de análisis, posterior a ello identificar el efecto, las posibles causas y los controles de prevención y/o detección. Una vez identificado esas variables se obtendrá unos niveles prioritarios de riesgos a los que se deberá de proponer acciones de mitigación. (Ver Figura N° 2.16)

ITEM INDICADOR	Requerimiento	Modo Evento de Riesgo	Efecto Potencial	S	Clase	Causa Potencial	Proceso Actual			NPR	Acción Recomendada	Resp. y Fecha Prev.
							Controles Prevención	O	Controles Detección			
1.												
2.												
3.												

Evaluación de riesgos

Figura N° 2.16. Modelo de Análisis FMEA

Fuente: Gestión de riesgos ISO9001, Suarez 2016

2.4.3.4 Árbol de Fallos

El árbol de fallo (FTA, del inglés *Fault Tree Analysis*) es una técnica desarrollada originalmente para la industria armamentística en la década de 1960. Más tarde se incorporó como una herramienta de análisis de riesgos y ahora se usa en muchas áreas, incluida la seguridad de las presas.

El análisis del árbol de fallas (ver Figura N° 2.17) es una de las técnicas lógicas y probabilísticas más importantes utilizadas en la evaluación probabilística de riesgos y la evaluación de la confiabilidad del sistema en la actualidad.(De la Cruz, 2017)

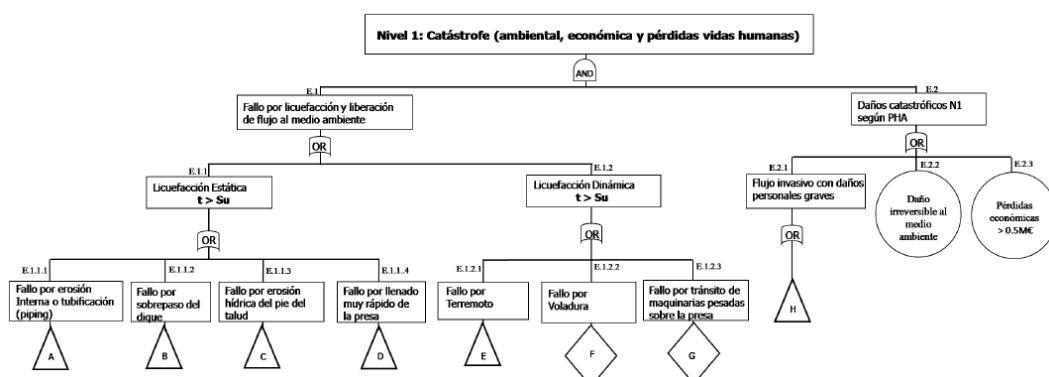


Figura N° 2.17. Ejemplo de esquema de árbol de Fallo

Fuente: De la Cruz, 2017

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA

A continuación, en la Figura N° 3.1 se muestra los procedimientos que forman parte de un sistema integral de riesgos de depósitos de relaves de acuerdo a las buenas prácticas en la minería actual. Como parte de esta gestión integrada, se debe de realizar los análisis de rotura de presas y determinar las posibles consecuencias de modos de fallas creíbles, de esa manera se podrá clasificar los depósitos de relaves, ello deberá de reflejarse como parte de un Manual de Operaciones y control, con ello se podrá implementar planes de respuesta y preparación ante emergencias, luego de implementar estos planes el proceso debe considerar una revisión de riesgos considerando los controles implementados con la finalidad de reducir los riesgos tan bajos como sea razonablemente posible (ALARP), el cual involucra un proceso continuo durante todas las etapas de un depósito de relaves.

La metodología que se plantea considerada el análisis de modos de falla, donde se evalúa todos los posibles mecanismos de fallas creíbles (escenarios de falla) como parte de la gestión integral de riesgos en los depósitos de relaves.

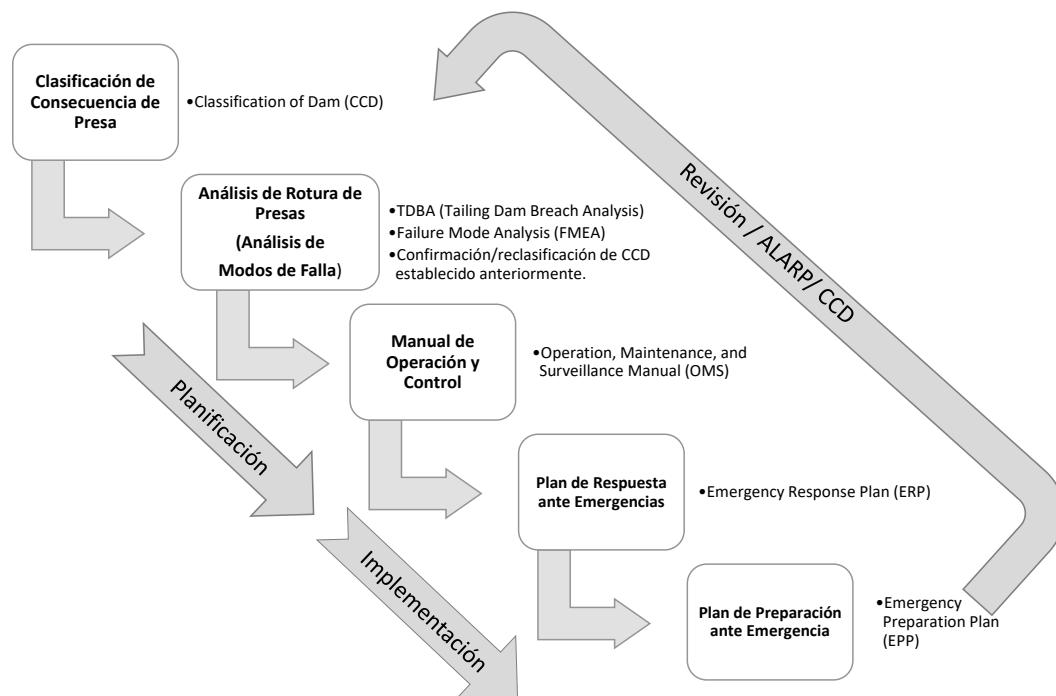


Figura N° 3.1. Procedimientos de la gestión integral de riesgos en un depósito de relaves.

Fuente: Adaptado del *"Integrity Management System Model for TSF"* (López et al., 2023)

Es importante conocer y definir la metodología a utilizar para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos, ya que esto permitirá una correcta evaluación y de esa manera se obtendrán resultados eficientes. Con el objetivo de determinar los escenarios de falla creíbles en depósitos de relaves bajo enfoques de riesgo se ha propuesto la metodología mostrada en la Figura N° 3.2.

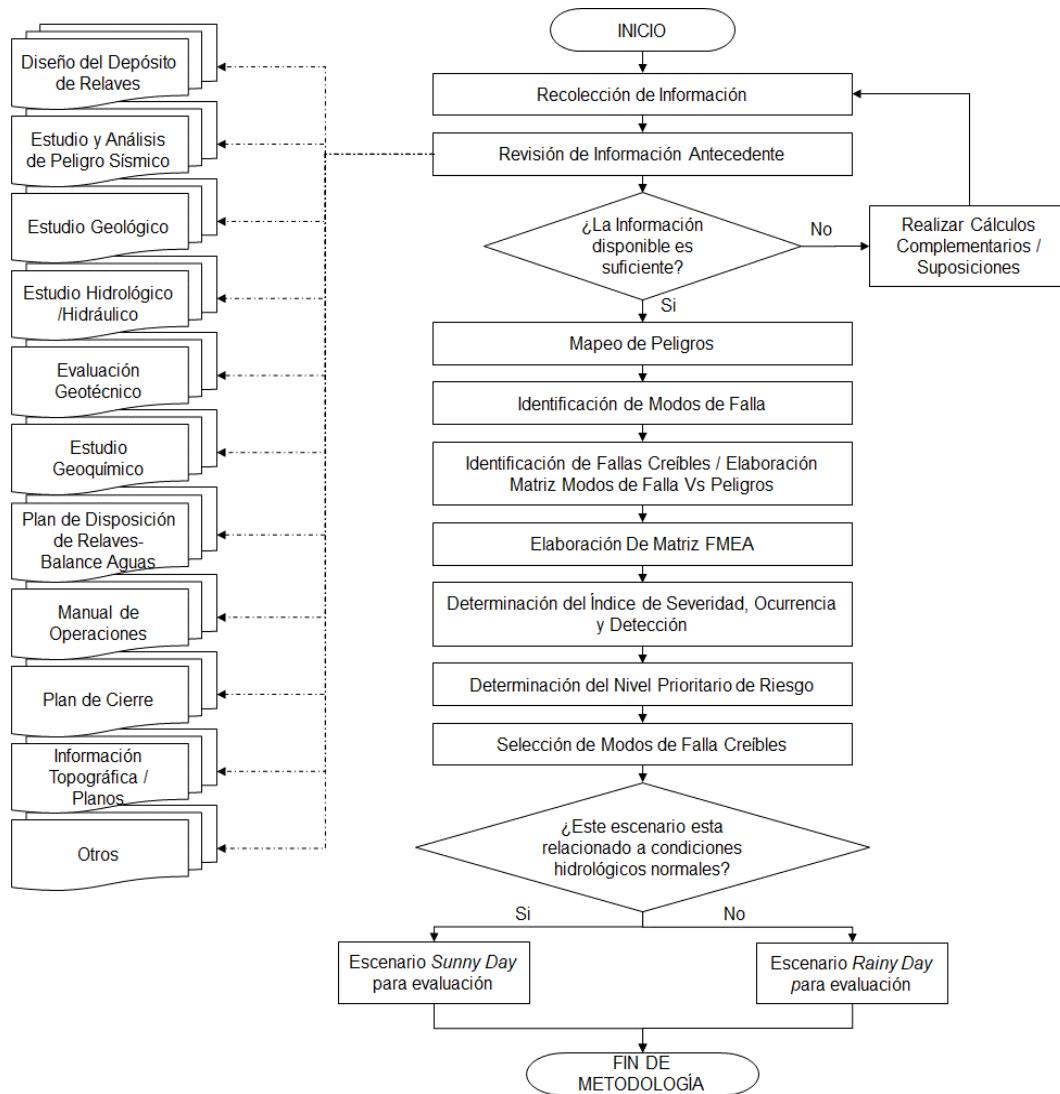


Figura N° 3.2. Diagrama de Flujo de Metodología Propuesta

A continuación, se describe los pasos a seguir para completar el análisis haciendo uso de la metodología propuesta.

3.1. RECOLECCIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN ANTECEDENTE

Para dar inicio la aplicación de la metodología propuesta se tendrá que realizar la recolección y revisión de la información antecedente y existente del depósito de relaves en análisis.

Para llevar a cabo este tipo de análisis se requiere como mínimo los siguientes estudios o información detallada:

- Ingeniería de detalle del Depósito de Relaves donde se incluya los criterios de diseño del mismo.
- Estudio y Análisis de Peligro Sísmico donde se determine las aceleraciones de diseño para diferentes períodos de retorno e incluya la estimación del sismo máximo creíble (MCE).
- Estudios Geológicos donde se cuente con la información de las formaciones geológicas del lugar donde se realizó el emplazamiento del depósito de relaves.
- Estudios Hidrológicos e Hidráulicos, estos deberán de incluir el análisis de precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno y estimación de la Precipitación Máxima Probable (PMP). Además, deberán de considerar los criterios de diseño de las obras hidráulicas.
- Estudios Hidrogeológicos, estos deberán de incluir la ubicación de los niveles freáticos y determinación de flujos de aporte subterráneos en el depósito de relaves.
- Evaluación Geotécnica, deberá de incluir los análisis de estabilidad estáticos, pseudo-estáticos y post sísmica del depósito de relaves, además deberá de contar con las características de las propiedades geotécnicas de los materiales en las secciones de análisis. En caso se cuente con un análisis dinámico de la presa, este deberá también de ser considerado.
- Plan de Disposición de Relaves y Balance de Aguas, este plan deberá de incluir la descripción de las características y propiedades de los relaves depositados, también debe incluir los criterios de diseño de las líneas de transporte de relaves. Por otro lado, el balance de aguas deberá de incluir la evaluación de los ingresos y salidas de flujos existentes en el depósito de estudio.

- Estudios Geoquímicos, deberán de incluir caracterización geoquímica de los relaves analizados, donde se determine el potencial de generación de acidez (PAG). También es importante tener en cuenta la información hidroquímica correspondiente a los análisis de calidad de flujos en los puntos de monitoreo existentes (zonas de filtración, *pond* de agua o laguna sobrenadante, etc.)
- Manual de Operaciones
- Plan de cierre del Depósito de Relaves
- Información Topográfica y Batimétrica del Depósito de Relaves.
- Planos de diseño desde su fase inicial hasta el cierre
- Otros estudios complementarios.

En el supuesto caso donde la información disponible no sea suficiente o no se cuenta con dicha información, se deberá de realizar suposiciones o análisis complementarios considerando las guías de análisis para el diseño de estos tipos de depósitos de relaves.

3.2. MAPEO DE PELIGROS

Para determinar los posibles escenarios de falla haciendo uso de la metodología planteada, es necesario identificar los peligros (mapear peligros) que puedan generar consecuencias de fallas potenciales (modos de falla) en el depósito de relaves de análisis.

Según el boletín técnico de revisiones de Seguridad de Presas (CDA, 2016a), el proceso de identificación de los peligros debe considerar el entorno físico de la presa (aspectos hidrológicos, geológicos, sísmicos, desarrollos aguas arriba, etc.) y el diseño de los componentes de la presa y la infraestructura, así como los factores humanos.

Para realizar el mapeo de peligros es necesario comprender y conocer a estos, se pueden clasificar como peligros externos e internos para el sistema del depósito de relaves, estos pueden ser:

- Peligros externos, son considerados los peligros que se originan fuera de los límites del sistema de la presa y del embalse (Depósito de Relaves),

los cuales se encuentran en muchos casos fuera del control del propietario de la presa. Estos peligros pueden ser:

- ✓ Eventos Meteorológicos.
- ✓ Eventos sísmicos.
- ✓ Entorno del Depósito de Relaves o Entorno del Embalse
- Peligros internos, son considerados los peligros que se originan dentro los límites del sistema de la presa y del embalse (Depósito de Relaves), los cuales se encuentran en dentro del control del propietario de la presa. Se puede mencionar los siguientes:
 - ✓ Peligros asociados a la barrera de relaves (dique de contención).
 - ✓ Peligros relacionados a las estructuras hidráulicas.
 - ✓ Peligros relacionados a estructuras mecánicas y eléctricas.
 - ✓ Peligros asociados a la infraestructura y planes de operación.

En la Tabla N° 3.1 y Tabla N° 3.2 se muestran algunos ejemplos relacionados a los peligros externos e internos respectivamente, estos peligros deberán de ser evaluados independientemente a la configuración del depósito de relaves en análisis y a la etapa del ciclo de vida en evaluación, puesto que en las etapas de cierre y post cierre podrían no contar con peligros relacionados a infraestructuras mecánicas y eléctricas o estructuras hidráulicas que se encontrarían inoperativas. Estas tablas han sido adaptadas de acuerdo a lo descrito en el boletín de revisiones de seguridad de presas CDA.

Tabla N° 3.1. Ejemplos de peligros Externos

Descripción	Ejemplos
Peligros Meteorológicos	<ul style="list-style-type: none">• Inundaciones - Avenidas• Precipitación (que causa erosión local, deslizamientos de tierra, etc.)• Temperaturas extremas• Hielo• Impacto de rayos• Tormentas de vientos
Peligros Sísmicos	<ul style="list-style-type: none">• Evento natural

Descripción	Ejemplos
Peligros en el entorno del Depósito de Relaves	<ul style="list-style-type: none"> • Características alrededor del embalse del depósito de relaves • Presas aguas arriba • Taludes existentes alrededor del embalse o presa (dique) • Arrastres de escombros • Incendio forestal • Vegetación

Fuente: Boletín Técnico de Revisión de seguridad de Presas (CDA, 2016a)

Tabla N° 3.2. Ejemplos de peligros Internos

Descripción	Ejemplos
Barrera de Relaves o Dique de Contención	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de tratamiento de las fundaciones • Inestabilidad de Taludes • Inestabilidad Hidrológica • Gradación inadecuada del material del terraplén • Potencial de licuación del material de la presa • Considera todos los elementos que retienen el cuerpo de relave o tienen interface con él, incluidos: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Presa principal, presas de cierre, etc.
Estructuras Hidráulicas	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de capacidad • Incapacidad de conducir de manera segura los caudales de diseño, etc. • Abarca todas las estructuras de conducción de agua requeridas para dirigir el agua alrededor o a través de la presa de manera controlada, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Estructura del vertedero ◦ Estructura de salidas (pozas de decantación)
Mecánicos y/o Eléctricos	<p>Relacionados con sistemas requeridos para controlar la contención segura del depósito de relaves. Incluyen todos los subsistemas y controles mecánicos y eléctricos en el sitio de la presa.</p> <p>En general abarcan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estructuras mecánicas y/o eléctricas utilizados para la operación de las lagunas de decantación
Infraestructuras y Planes	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de Operación inadecuado • Procedimientos y planes de trabajos Inadecuados • Deficiencias en guías y planes de contingencia.

Fuente: Boletín Técnico de Revisión de seguridad de Presas (CDA, 2016a).

Asimismo, en la Figura N° 3.3 se muestra un ejemplo de identificación de peligros externos e internos de un depósito de relaves en la sierra del Perú, estos peligros identificados pueden variar en las diferentes etapas de vida del depósito de relaves, lo que se muestra corresponde a la etapa de operación.

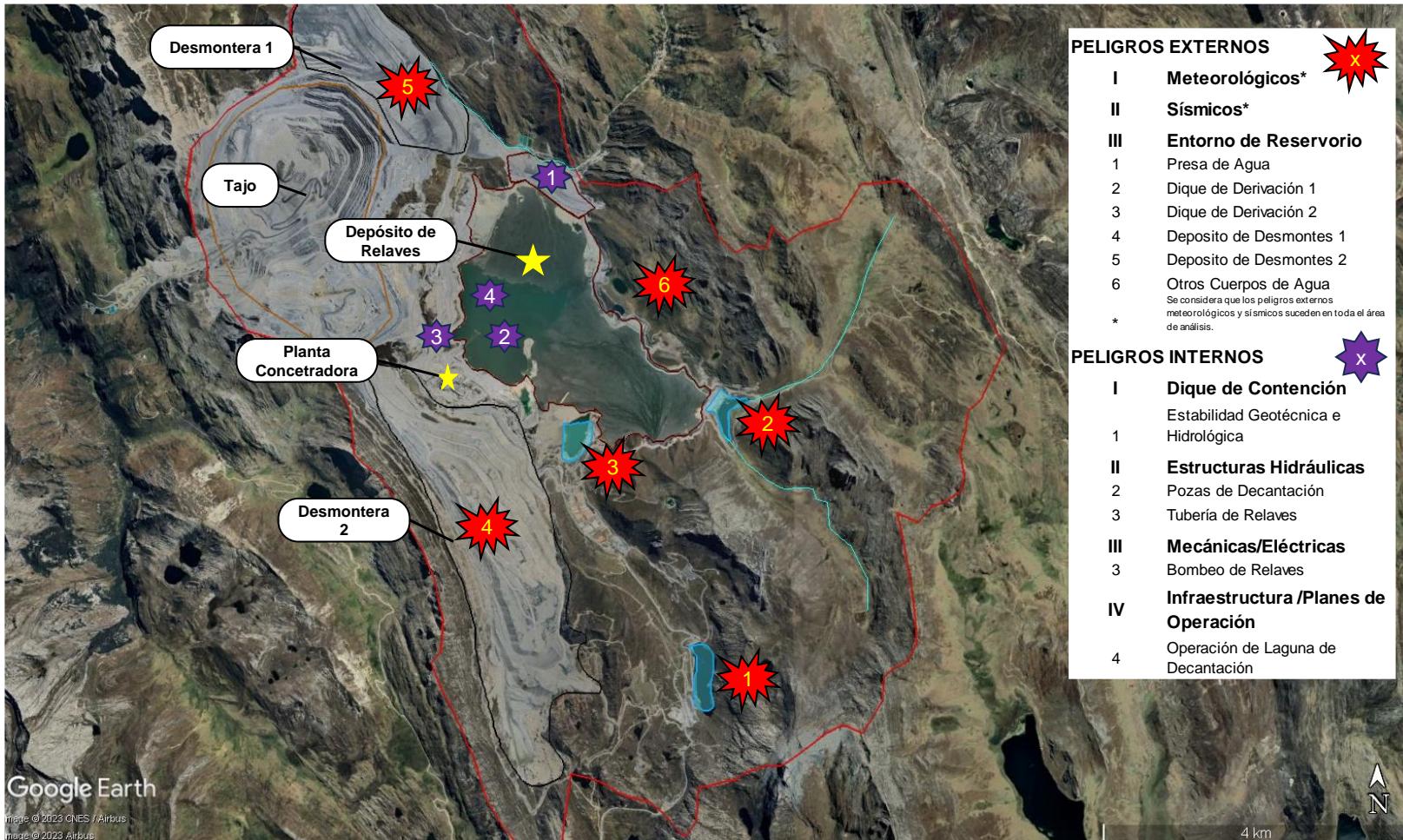


Figura N° 3.3. Ejemplo de Mapeo de Peligros en un Depósito de Relaves en la Sierra del Perú

Fuente: Imagen Satelital Google Earth2023

3.3. MODOS DE FALLA

Un modo de falla describe cómo ocurre la falla de un componente (dique de contención de relaves) y causa una pérdida de funcionamiento del sistema. Los modos de falla pueden depender unos de otros y cambiar de naturaleza e importancia en diferentes etapas de la vida útil de una presa (construcción, operación y cierre). En todos los análisis deben determinarse, con un grado apropiado de detalle, las características de la falla, incluido la extensión y ritmo de desarrollo (CDA, 2013).

Para tener en consideración el estado de arte de fallas en el mundo, a continuación, se presenta una actualización de estadísticas de fallas y así concientizar el análisis de estos tipos de eventos en todas las etapas diseño.

3.3.1 Actualización de Estadísticas de Fallas

En la actualidad existe una gran cantidad de información sobre fallas de presas de relaves que han sido objetos de estudio. Estas bases de datos se encuentran disponible en línea y han sido tomadas en cuenta en el presente estudio, estas bases de datos han sido resumidas en una línea de tiempo mostrada en la Figura N° 3.4.

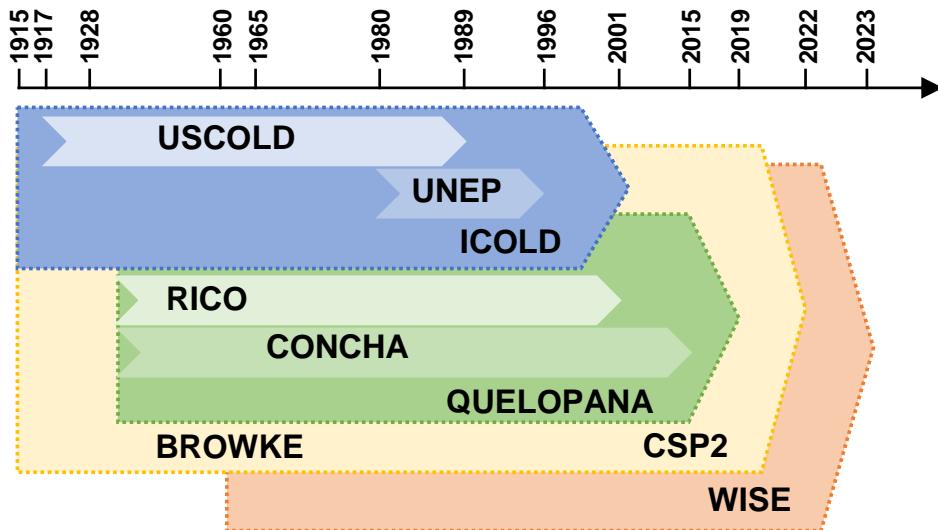


Figura N° 3.4. Cronología de base de datos existentes de Fallas en Depósitos de Relaves

Entre las principales bases de datos se tiene al Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD, 2001), el cual proporciona un catálogo de 221 accidentes en presas de relaves, ICOLD en el 2001 tomó en cuenta la información provista en la base de datos del Comité de grandes presas de los estados unidos (USCOLD, 1994) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 1996), complementando así su estadística hasta el año 2001. ICOLD clasificó las causas de fallas en nueve categorías, las cuales corresponden a inestabilidad de taludes – falla estática (SI, *Slope Instability*), filtración – erosión interna (SE, *Seepage*), condiciones estructurales y de cimentación (FN, *Foundation*), sobrepaso (OT, *Overtopping*), deficiencias estructurales – decantaciones fallidas o inadecuadas (ST, *Structural*), inestabilidad sísmica (EQ, *Earthquake*), subsidencia de Mina (MS, *Mine Subsidence*), erosión externa (ER, *External erosion*) y modos de fallas desconocidos (U, *Unknown*). Esta clasificación de modos de falla ha sido también considerada en otras bases de datos.

Más adelante, Quelopana (2019) y Concha (2018) con la finalidad de actualizar modelos estadísticos para determinar los volúmenes de descarga y evacuación cuando se produzca la falla de una presa de relaves, complementaron la base de datos de referencia elaborado por Rico (2008) que a su vez tomaba como referencia información recopilada por ICOLD (2001). Rico consideró las fallas de depósitos de relaves que contaban con información suficiente para realizar análisis estadísticos y relaciones empíricas en función de las características geométricas de las presas (Altura de presa y Volumen almacenado). Es por ello que se cuenta con una recopilación de datos considerada en estos estudios.

Por otro lado, existen otras bases de datos sobre accidentes y fallas de depósitos de relaves en la web, entre ellos se tiene al Servicio Mundial de Información sobre Energía (WISE), la cual recopila información respecto a la ubicación, volumen liberado e impactos de fallas de depósitos de relaves. Esta base de datos proporciona información desde 1960 y se actualiza continuamente hasta la fecha (marzo-2023). Otra fuente de información sobre fallas de presas de relaves es proporcionada por el Centro para la Ciencia en la Participación Pública (CSP²). Este centro proporciona capacitación y asesoría técnica en materia de agua, problemas de contaminación y recursos naturales relacionados con la minería, dicha base de datos toma como referencia los análisis de Bowker y Chambers realizados en el 2015 y actualizados en el 2019, donde a su vez toman en

consideración fuentes como ICOLD, WISE, entre otros. El CSP² cuenta con un catálogo de accidentes y falla de presas de relaves actualizados desde 1915 hasta noviembre de 2022.

Como se describe anteriormente, existe una gran cantidad de información relacionado a accidentes y fallas de presas de relaves; sin embargo, al realizar una comparación entre bases de datos no todas las fallas han sido consideradas en sus estadísticas, es por eso que en el presente estudio se realizó una actualización considerando todas las bases de datos anteriormente mencionadas, dicha actualización de base se muestra en el **Anexo I**. A continuación, se detallan estadísticas actualizadas de fallas en el Mundo y en el Perú.

3.3.1.1 Fallas de Presas de Relaves Alrededor del Mundo

La actualización de base de datos se realizó teniendo en consideración la fecha del incidente (año), el tipo o modo de falla, el tipo de presa o método de construcción, entre otros. Asimismo, se realizó una comparación de fallas consideradas por diferentes fuentes como ICOLD (2001), WISE (2023), CSP² (2022) y la presente actualización.

En la Figura N° 3.5 se muestra una comparación de números de eventos según el modo de falla (ver Tabla N° 3.3), estos se encuentran agrupados por décadas, los cuales han sido recolectados desde el año 1915 hasta el año 2023 (marzo). Se puede observar que ICOLD recopiló 221 casos (la base de datos del ICOLD solo considera 220), WISE registró 157 fallas recopiladas desde el año 1960 hasta la actualidad, CSP² registró 376 fallas hasta el 2022 y en la presente actualización se identificaron un total de 421 casos de fallas de presas de relaves en el mundo, dentro de estos se tienen 33 casos que tuvieron que ser categorizados como “No reportados” debido a la carencia de información de los años de sucesos de dichos eventos. Además, se puede observar que en las décadas de los 60, 70 y 80 se presentaron mayores cantidades de casos a comparación de la década de los 90 y la primera década del siglo XXI, sin embargo, tanto WISE, CSP² y la presente actualización muestran un incremento de falla ocurrido entre los años 2010 y 2020. Cabe señalar que los eventos recientes más conocidos y que tuvieron consecuencias conocidas alrededor del mundo, ocurrieron en estos últimos años, entre ellos se conoce el caso de Mount Polley (Canadá, 2014), Samarco (Brasil, 2015), Brumadinho (Brasil, 2019), entre otros.

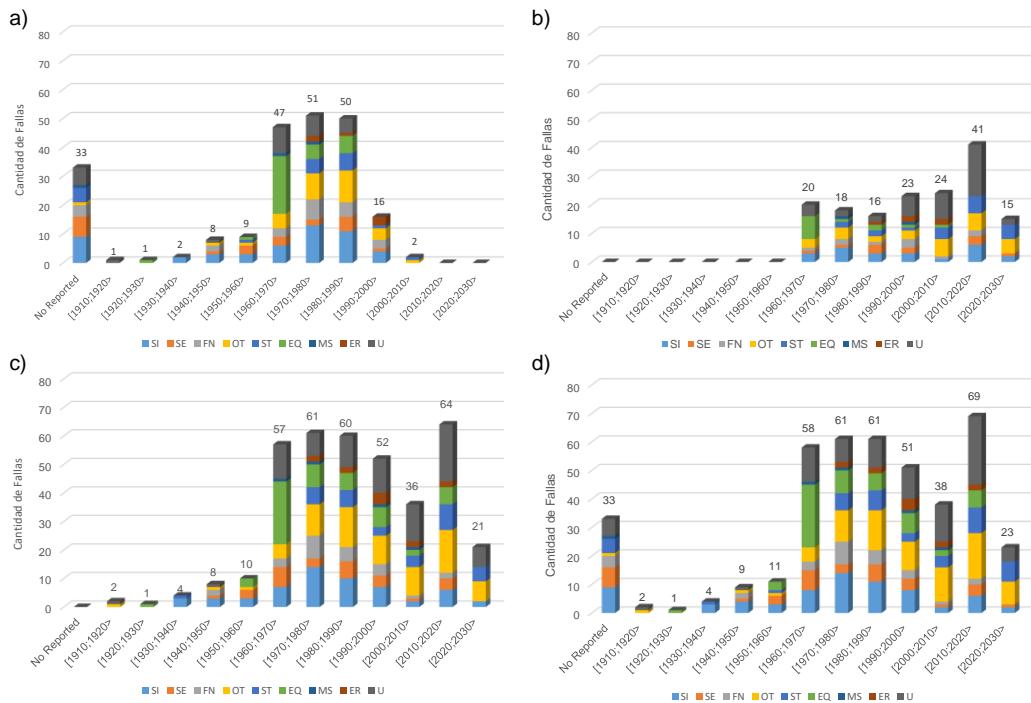


Figura N° 3.5. Cantidad de Fallas agrupadas en décadas según Tipo o Modo de Falla.

Fuente: a) ICOLD (2001), b) WISE (2023), c) CSP² (2022), d) Base de datos actualizada al 2023

Tabla N° 3.3. Clasificación según Tipo o Modo de Falla

Simbología	Descripción
SI	Inestabilidad de Taludes – Falla Estática (<i>Slope Instability</i>)
SE	Filtración – Erosión Interna (<i>Seepage</i>)
FN	Condiciones Estructurales y de Cimentación (<i>Foundation</i>)
OT	Sobrepaso (<i>Overtopping</i>)
ST	Deficiencias Estructurales – Decantaciones Fallidas o Inadecuadas (<i>Structural</i>)
EQ	Inestabilidad Sísmica (<i>Earthquake</i>)
MS	Subsistencia de Mina (<i>Mine Subsidence</i>)
ER	Erosión Externa (<i>External Erosion</i>)
U	Desconocido (<i>Unknown</i>)

Fuente: ICOLD (2001)

Asimismo, se realizó una comparación de estadísticas según los tipos o modos de falla considerando la clasificación elaborada por el ICOLD (ver Tabla N° 3.3). Esta comparación se muestra en la Figura N° 3.6 donde se observa que sin tomar en cuenta la información desconocida, según la base de datos del ICOLD el modo de falla más común viene a ser la inestabilidad de taludes seguidas del modo de falla sobrepujante e inestabilidad sísmica. Por otro lado, tanto WISE, CSP² y la presente actualización muestran que el modo de falla más común es el sobrepujante (19% -

20%) y la inestabilidad de taludes (15-17%), seguido muy de cerca de la inestabilidad sísmica (8-15%).

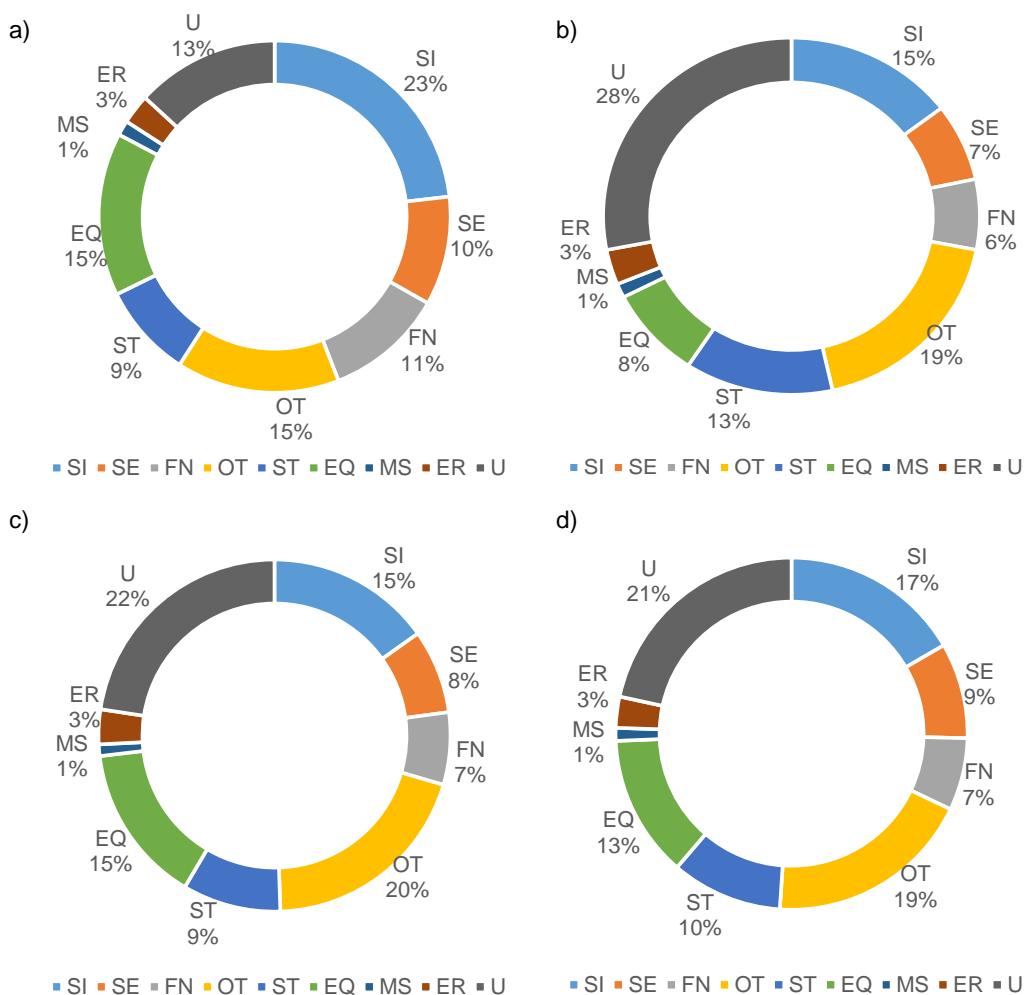


Figura N° 3.6. Estadística de Fallas según Tipo o Modo de Falla.

Fuente: a) ICOLD (2001); b) WISE (2023); c) CSP² (2022); d) Base de datos actualizada al 2023

De igual modo que la clasificación por tipos o modos de falla, se realizó una comparación por tipo de presa o método constructivo, entre los métodos de construcción se consideraron los del tipo aguas arriba (US - *Upstream*), aguas abajo (DS - *Downstream*), línea central (CL - *Centerline*), modificaciones de aguas abajo hacia el método aguas arriba (DS/US), modificaciones de aguas arriba a línea central (US/CL), otros y presas no reportadas debido a la carencia de información (NR). Esta comparación de estadísticas se muestra en la Figura N° 3.7 donde se observa que sin considerar las estadísticas que no reportan información sobre el tipo de presa, se observa que las diferentes fuentes

concuerdan que la gran parte de presas que fallaron contaban con una configuración del tipo aguas arriba, seguidos del tipo aguas abajo y línea central.

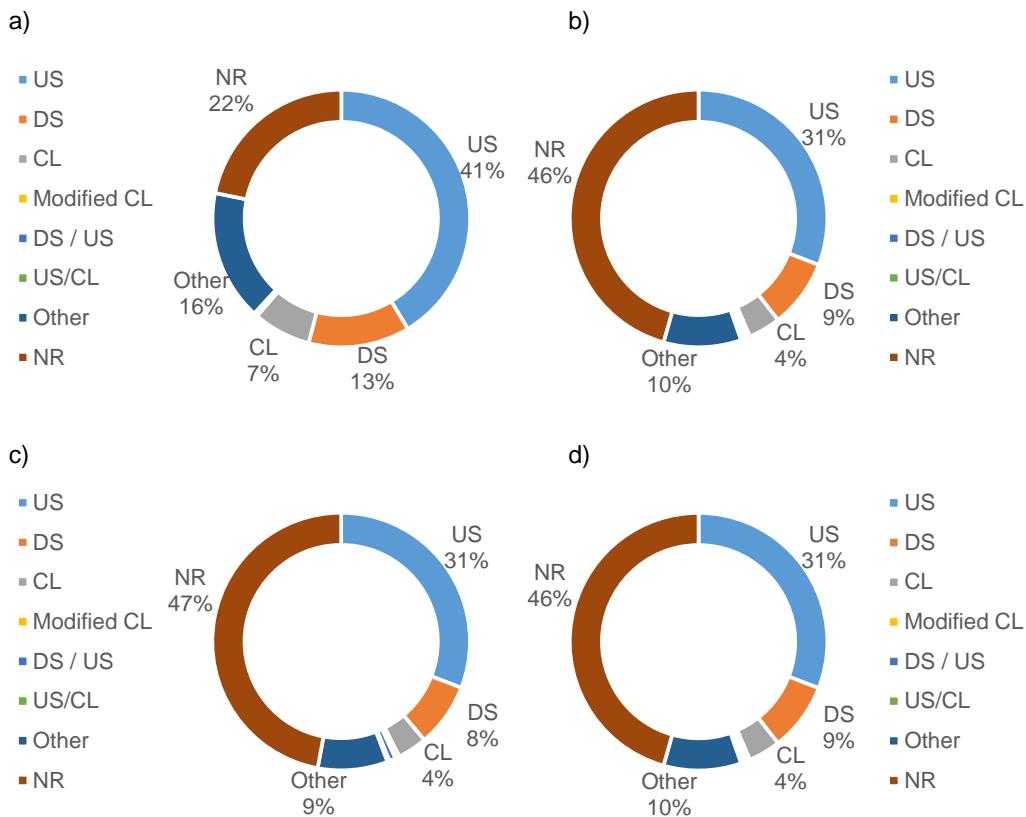


Figura N° 3.7. Estadística de Fallas según Tipo de Presa o Método Constructivo.

Fuente: a) ICOLD (2001); b) WISE (2023); c) CSP² (2022); d) Base de datos actualizada al 2023

Considerando el análisis de la base de datos elaborada según las diferentes fuentes de información consultadas (ICOLD, WISE, CSP², entre otros) y ya realizada la comparación de todas estas según el tipo de falla agrupadas por décadas y clasificados por el tipo de presa, en la Figura N° 3.8 se muestra un registro total de 421 eventos que ocurrieron cronológicamente en diferentes regiones y países alrededor del mundo, en dicha figura también se muestra la distribución de fallas por países y regiones, donde se resalta que la mayoría de estos eventos ocurrieron en Norte América (39 %), seguido de América del Sur (20 %), Asia (15%), Europa (15%), África (5%), Oceanía (4%) y Otros (2%). En América del sur se presentaron alrededor de 86 casos y los países como Chile, Perú y Brasil son los que más casos de fallas reportaron, ascendiendo a 42, 20 y 18 casos, respectivamente.

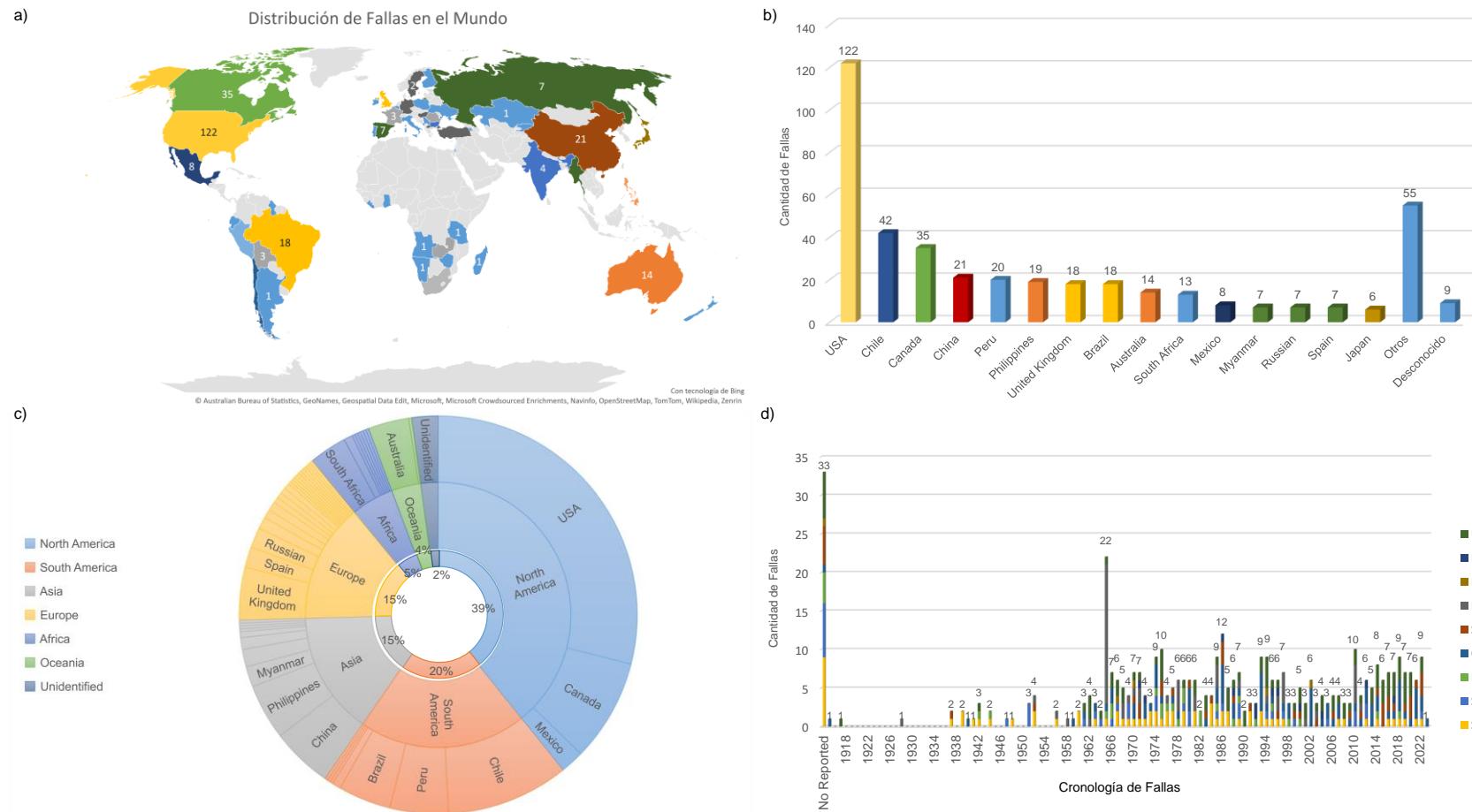


Figura N° 3.8. Distribución de fallas alrededor del Mundo por países y regiones.

Según: a) En el mundo; b) Países que registran más de 5 eventos de fallas de presas de relaves; c) Distribución de Fallas por regiones y d) Cronología de Fallas según tipo de Falla.

3.3.1.2 Fallas de Presas de Relaves en el Perú

El Perú no ha sido ajeno a estos tipos de eventos, pues a lo largo de los años han ocurrido estos tipos de fallas. Entre los principales hechos ocurridos se puede mencionar el caso reciente en la unidad minera San Antonio - La Rinconada ubicada en Ananea Puno (2021), el cual debido a las constantes lluvias provocó el desbordamiento de relaves que ocasionó el arrastre de vehículos, inundaciones de calles e inhabilitación de 400 metros de la vía nacional La Rinconada hacia Progreso Central en Puno. Otro caso recordado es el ocurrido en la unidad minera Lincuna (2018), la cual sufrió el colapso del terraplén del dique de relaves N°2 después de fuertes lluvias, este incidente provocó la liberación de 11800 m³ de relave en la quebrada Sipchoc y posteriormente al río Santa. También se conoce el caso de la unidad minera cobriza en Huancavelica (2019) donde se derramaron cerca de 12000 m³ de relaves al Río Mantaro.

Por otro lado, también es conocido el caso de la mina Caudalosa Chica, el cual generó un impacto ambiental grave pues la contaminación generada por el colapso de la presa llegó aproximadamente hasta 110 km aguas abajo del dique, liberando materiales de relaves (22600 m³) compuesto de minerales como plomo, zinc, cobre entre otros, este impacto afectó los ríos Huachocolpa, Lircay, Opamayo y el río Mantaro.



Figura N° 3.9. Algunos casos de Fallas de presas de Relaves en el Perú.

Fuente: Osinergmin (2020) / Diario Sin Fronteras

(<https://diariosinfronteras.com.pe/2021/11/28/ananea-inundada-de-relaves>)

Tal como se comentó en el ítem anterior, en América del Sur se cuenta con un registro total de 86 casos de fallas en presas de relaves, de los cuales el 23% (20 casos) ocurrieron en el Perú. A continuación, en la Tabla N° 3.4 se muestran los casos de fallas de presas de relaves en el Perú desde el año 1952 hasta la fecha, esta lista incluye el nombre del depósito de relaves o la unidad minera, tipo de presa (Aguas Arriba – US, Aguas Abajo – DS, Línea Central - CL), Altura de Presa, modo o tipo de falla (según nomenclatura ICOLD, ver Tabla N° 3.3) y el año de ocurrencia del incidente (más reciente a más antiguo).

Tabla N° 3.4. Casos de fallas de presas de relaves en el Perú.

Id	Depósito De Relaves / Unidad Minera	Tipo de Presa	Altura de Presa	Modo de Falla	Año de Incidente	Fuente
1	San Antonio de María mine, Ananea, La Rinconada	-	-	OT	2021	1
2	La Rinconada, Ananea, San Antonio de Putina, Puno	-	-	U	2019	1
3	Mina Cobriza mine, Huancavelica (Doe Run Perú S.R.L)	US	-	OT	2019	1 y 5
4	Huancapetí, Áncash (Compañía Minera Lincuna SA, Grupo Picasso)	-	-	U	2018	1
5	Unidad Minera Caudalosa Chica, Huancavelica	-	25	SE	2010	1 y 6
6	Mina Cuajone mine, Torata	DS	130	EQ	2001	4
7	Amatista	US	-	EQ	1996	1 y 3
8	Caravelí	-	-	EQ	1996	3 y 4
9	Marsa (Marsa Mining Corp)	-	-	OT	1993	1
10	San Nicolas, Cajamarca	-	-	ST	1980	3 y 4
11	Chungar	-	-	EQ	1971	6
12	Atacocha, Perú (Compañía Minera Atacocha)	-	-	ST	1971	3 y 4
13	Quiruvilca mine, Almivirca tailings dam, Peru (2 of 2)	-	40	EQ	1970	3 y 4
14	Ticapampa, Perú	-	20	EQ	1971	3 y 4
15	Buenaventura, Perú	-	-	EQ	1969	3 y 4
16	Yauli-Yacu, Perú	US	80	EQ	1968	3 y 4
17	Quiruvilca mine, Almivirca tailings dam, Perú (1 of 2)	-	40	EQ	1962	1 y 2
18	Milpo, Perú	-	60	EQ	1956	3 y 4

Id	Depósito De Relaves / Unidad Minera	Tipo de Presa	Altura de Presa	Modo de Falla	Año de Incidente	Fuente
19	Casapalca, Perú (Centromin)	US	107	ST	1952	2
20	Casapalca, Perú (Centromin)	US	60	EQ	1952	2 y 4

Fuente: [1] WISE; [2] ICOLD; [3] Oldecop & Rodríguez 2007; [4] CSP2; [5] Rana; [6] Rudolph & Coldewey 2008.

A continuación, en la Figura N° 3.10 se muestra la cronología de casos de falla agrupados por décadas y el tipo o modo de falla a la que estuvieron sometidos cada una de estas, en la que se muestra que en el Perú se tiene registrado como mínimo 1 evento de este tipo desde la década del 50 (1952), llegando hasta 4 eventos en la década de los 70 y en la segunda década del siglo XXI (2010 a 2020).

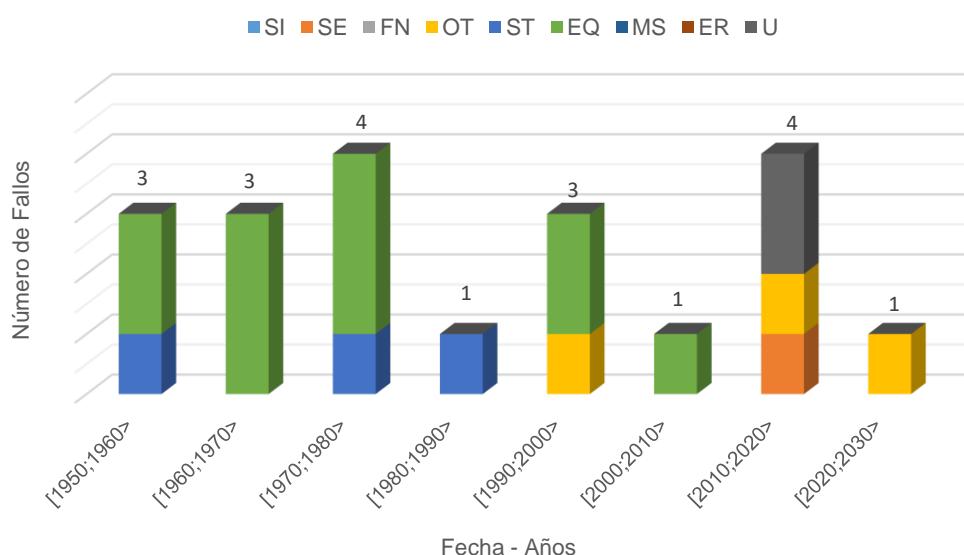


Figura N° 3.10. Número de fallas en el Perú distribuido por décadas según el Tipo de Falla

En la Figura N° 3.11 se muestra algunas estadísticas respecto al tipo o modo de falla (a), el tipo de presa o construcción de presa (b) y por último una clasificación de acuerdo a la altura de presa (c), en ello se observa que la mayor causa de fallas en el Perú fueron ocasionados por eventos sísmicos (55%), seguido del sobrepasso (15%) y deficiencias estructurales (15%) el resto de presas fallaron por problemas de filtraciones (5%) y algunos no registraron el tipo de falla (10%), además se observa que cerca del 70% de presas que fallaron no cuentan con información respecto al tipo de construcción, de aquellas presas con las que se cuenta

información el 25% fueron construidos con el método aguas arriba y el 5% con el método aguas abajo. Respecto a las alturas de presas que fallaron, se cuenta con variedades que van desde los 20 m hasta los 107 m.

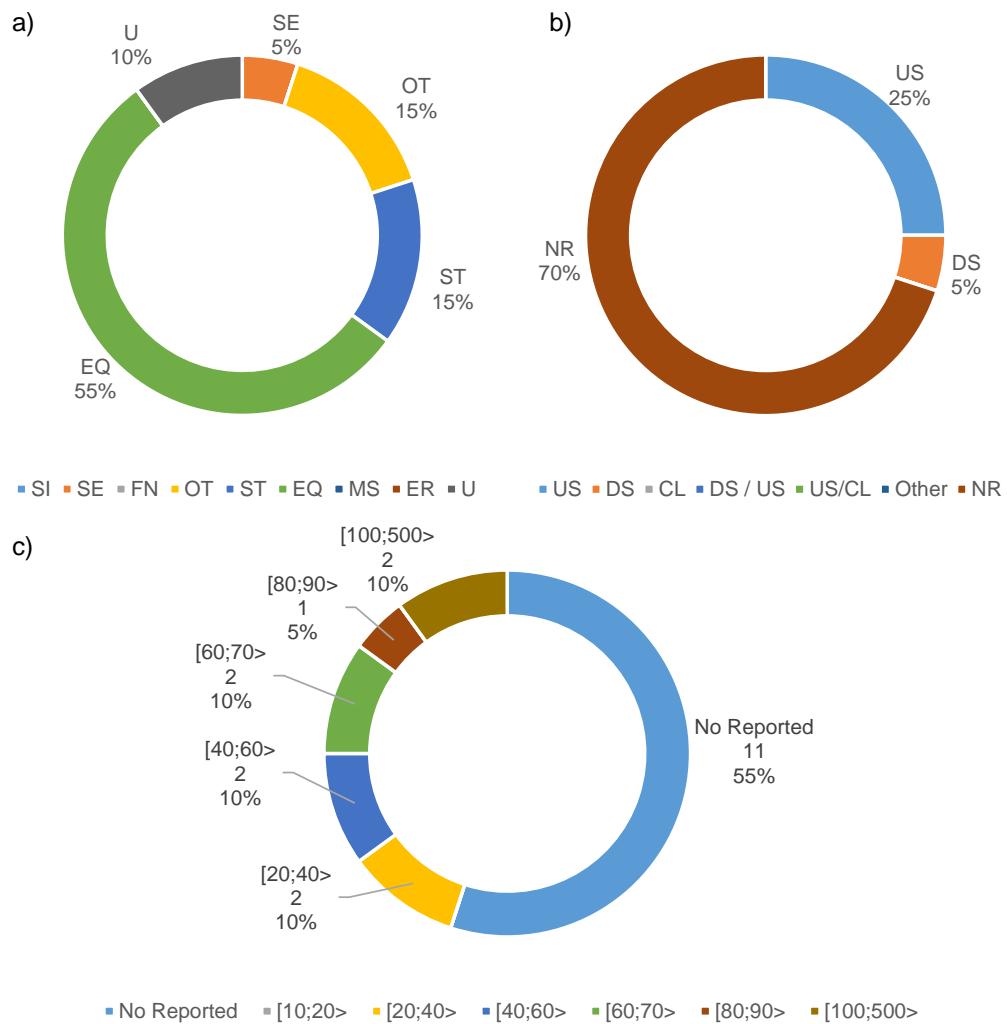


Figura N° 3.11. Estadísticas de Fallas en el Perú.

3.3.2 Identificación de Modos de Falla

Teniendo conocimiento de las estadísticas de fallas y modos de fallas de presas de relaves en el Perú y el mundo debe entenderse que estos deben de ser identificados para cada presa o depósito de relaves en particular. De acuerdo a la CDA estos modos de falla deben ser considerados en la evaluación de las consecuencias de falla de la presa, ya que diferentes modos de falla pueden dar como resultado diferentes consecuencias, sin embargo, más adelante a raíz de los últimos sucesos catastróficos en la década actual la ICMM presenta un estándar global sobre la gestión de relaves donde hace énfasis en que se deben de analizar solo los modos de fallas creíbles, al cual conceptualiza como el mecanismo de falla técnicamente factible donde se considere los materiales presente en la estructura y su fundación, la configuración de la estructura, las condiciones del drenaje, el control de las aguas superficiales en la instalación en todo su ciclo de vida entre otras consideraciones técnicas, estos modos de falla pueden variar durante el ciclo de la vida del depósito en función de las condiciones mencionadas anteriormente. Es por ello que en la presente tesis se considera la determinación de modos de fallas creíbles considerando la configuración específica del depósito de relaves en estudio.

Para abarcar todos los posibles modos de falla existentes, ICOLD en el 2011 y la CDA en el 2016 realizaron una adaptación de los modos de falla clasificados por el ICOLD en el 2001 (OT, MS, ST, EQ, SI, SE, FN, ER, U), estos fueron agrupados en 2 modos de falla globales (Colapso por *Overtopping* o Sobrepasso y Colapso por pérdida de Resistencia) con 7 elementos de evaluación que a su vez se dividen en 14 mecanismos de falla, estos mecanismos de falla también son considerados en la guía de análisis de roturas de presas (TDBA, *Tailing Dam Breach Analysis*) que la CDA presenta en el año 2021.

En la Figura N° 3.12 se muestra la adaptación de los modos de falla ICOLD 2001 a los modos de fallas globales y mecanismos de falla CDA - 2016 (Adaptación desde ICOLD – 2011), estos últimos son parte de la evaluación de la metodología en la presente tesis.

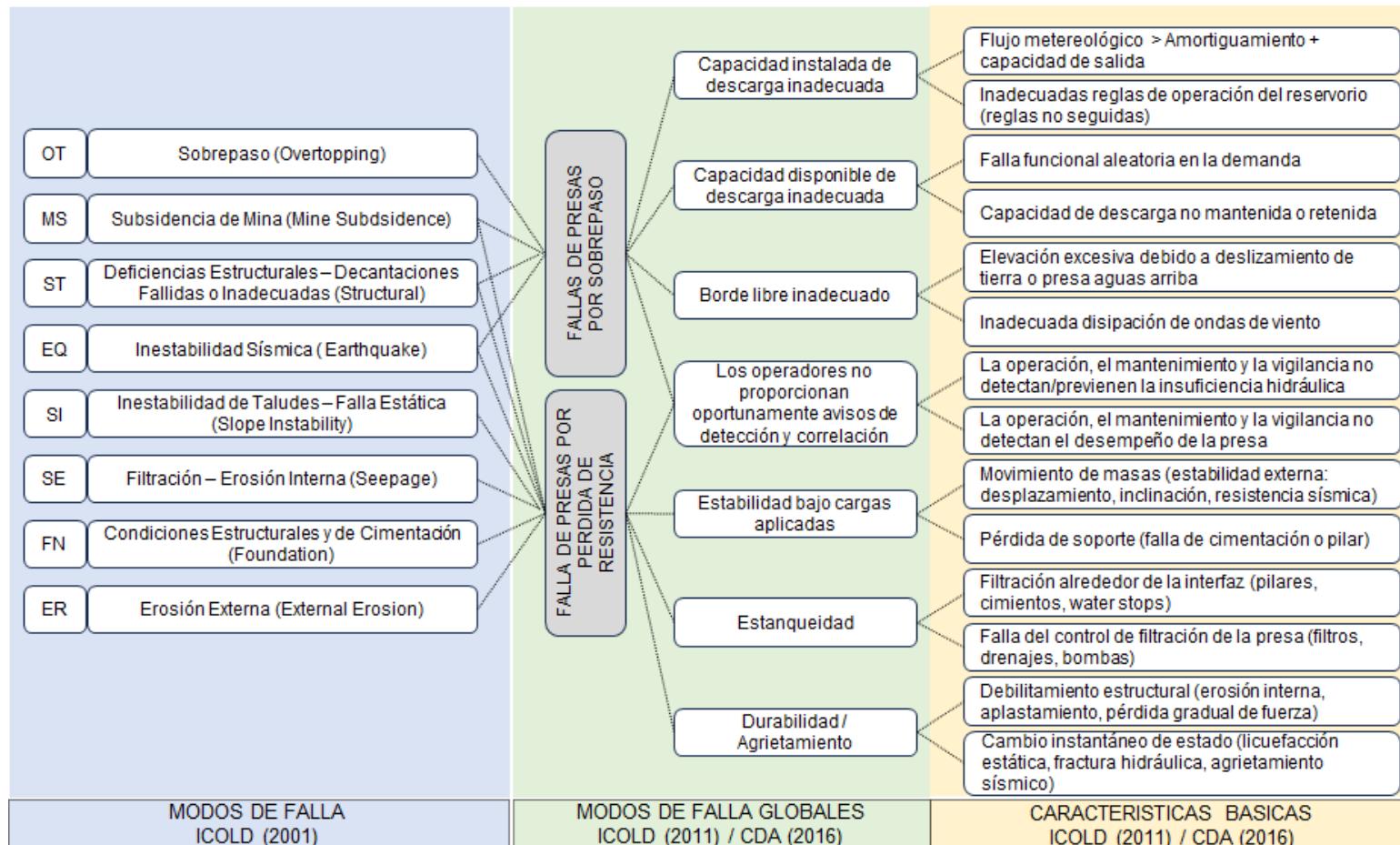


Figura N° 3.12. Asociación de modos de fallas específicas a modos de fallas globales

Fuente: ICOLD (2001), ICOLD (2011) CDA (2016b)

3.4. MODOS DE FALLAS CREÍBLES – MODOS DE FALLA VS PELIGROS

Una vez que los peligros y modos de falla han sido identificados y entendidos, debe evaluarse la credibilidad de estos modos de falla producidos por los peligros, para ello la presente metodología considera la matriz de evaluación presentada en el Taller de revisión de seguridad de presas de la CDA (*Dam Safety Review Workshop*, 2016b), donde se presenta una matriz de peligros vs modos de falla (ver Tabla N° 3.5) la cual debe ser completada. Para completar esta matriz se deberá de responder cada pregunta relacionada al modo de falla y al peligro en evaluación, esta matriz consta de los 14 mecanismos de falla identificados anteriormente y considera 7 categorías de peligros (externos e internos). Con la finalidad de completar la matriz y seleccionar los posibles modos de falla se deberá de responder las preguntas de validación. En la Tabla N° 3.6 se detallan las preguntas relacionadas al peligro meteorológico versus los 14 mecanismos de fallas. En cuanto a los otros peligros en análisis las preguntas correspondientes a estos últimos se detallarán en el **Anexo II**. A continuación, en la Figura N° 3.13 se muestra un ejemplo donde se evalúa la credibilidad del modo de falla. Una vez respondida las preguntas, se deberá de señalar con un aspa (X) los casos en el que se encuentre un modo de falla creíble; asimismo, en caso no se encuentre relación entre el peligro y el modo de falla, este deberá ser clasificado como no factible y deberá de ser resaltado.

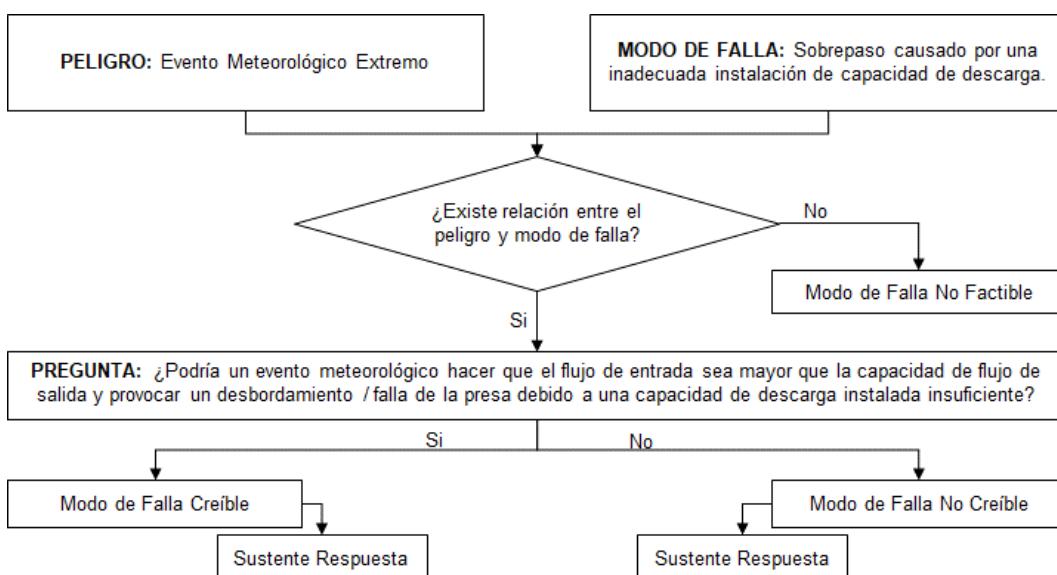


Figura N° 3.13. Ejemplo de identificación de modos de fallas creíbles.

Fuente: Adaptado Workshop – CDA

Tabla N° 3.5. Matriz de Modos de Falla y Peligros

MODOS DE FALLA GLOBAL		ELEMENTO DE EVALUACIÓN	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE FALLAS FUNCIONALES	PELIGROS EXTERNOS			PELIGROS INTERNOS			
				A	B	C	D	E	F	G
COLAPSO DE LA PRESA POR SOBREPASO (Erosión o vuelco)	ELEVACIÓN DE AGUA DEMASIADO ALTA	CAPACIDAD INSTALADA DE DESCARGA INADECUADA	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
			Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
		CAPACIDAD DISPONIBLE DE DESCARGA INADECUADA	Falla funcional aleatoria en la demanda	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
			Capacidad de descarga no mantenida o retenida	A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4
			Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	A5	B5	C5	D5	E5	F5	G5
	DEFICIENCIA DEL SISTEMA	BORDE LIBRE INADECUADO	Disipación de la onda de viento inadecuada	A6	B6	C6	D6	E6	F6	G6
			La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	A7	B7	C7	D7	E7	F7	G7
		LOS OPERADORES NO PROPORCIONAN OPORTUNAMENTE AVISOS DE DETECCIÓN Y CORRECIÓN	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	A8	B8	C8	D8	E8	F8	G8
			Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	A9	B9	C9	D9	E9	F9	G9
			Pérdida de soporte (falla de cimentación o pilar)	A10	B10	C10	D10	E10	F10	G10
COLAPSO DE LA PRESA POR PÉRDIDA DE RESISTENCIA (Falla o debilitación estructural interno o externo)	ESTABILIDAD DE CRESTA DEMASIADO BAJA	ESTABILIDAD BAJO CARGAS APLICADAS	Filtración alrededor de la interfaz (pilares, cimientos. Paradas de agua)	A11	B11	C11	D11	E11	F11	G11
			A través de la falla del control de infiltración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	A12	B12	C12	D12	E12	F12	G12
		ESTANQUEIDAD	Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	A13	B13	C13	D13	E13	F13	G13
			Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	A14	B14	C14	D14	E14	F14	G14

Leyenda	A	Meteorológico	B	Sísmico	C	Entorno de reservorio	D	Barrera de relaves	E	Estructura hidráulica	F	Mecánico eléctrico	G	Infraestructura y planes
----------------	----------	---------------	----------	---------	----------	-----------------------	----------	--------------------	----------	-----------------------	----------	--------------------	----------	--------------------------

Fuente: CDA, 2016b

Tabla N° 3.6. Preguntas para validación de modos de falla relacionadas al peligro meteorológico.

ID	PELIGRO EXTERNO: METEOROLÓGICO
A1	¿Podría un evento meteorológico hacer que el flujo de entrada sea mayor que la capacidad de flujo de salida y provocar un desbordamiento / falla de la presa debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
A2	¿La presa podría ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si no se siguen las reglas de operación?
A3	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si hay una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga?
A4	¿La presa podría ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si la capacidad de descarga no es mantenida?
A5	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico debido a un deslizamiento de tierra en el embalse o una falla de la presa aguas arriba?
A6	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico debido a la inadecuada disipación de las olas generadas por el viento?
A7	¿Podría un evento meteorológico impedir que las actividades de los Ingenieros de Seguridad de Presas (basadas en los requisitos de OMS) detecten / eviten una insuficiencia hidráulica que provoque un desbordamiento / falla de la presa?
A8	¿Podría el evento meteorológico evitar que las reglas de OMS sean implementadas por el Ingeniero de seguridad de Presa, lo que lleva al colapso de la presa por pérdida de resistencia?
A9	¿Podría ocurrir una pérdida de resistencia e inestabilidad estática durante un evento meteorológico y causar el colapso de la presa?
A10	¿Podría la reducción / falta de soporte en la fundación o estribos durante un evento meteorológico causar el colapso de la presa?
A11	¿Podría la filtración alrededor de las interfaces / estribos / fundación durante un evento meteorológico reducir la estanqueidad suficiente para provocar el colapso de la presa?
A12	¿Podría una filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas, inestabilidad interna) durante un evento meteorológico reducir la estanqueidad y provocar el colapso de la presa?
A13	¿Podría el debilitamiento estructural (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) causado por un evento meteorológico causar el colapso de la presa?
A14	¿Podría ocurrir un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) causado por un evento meteorológico que cause el colapso de la presa?

Fuente: Taller de Revisión de Seguridad de Presas (CDA, 2016b)

3.5. ELABORACIÓN DE MATRIZ DE RIESGO FMEA

La metodología FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*, por sus siglas en inglés) es una técnica sistemática que considera los diversos modos de falla (o roturas) de un componente (dique contención de relaves, dique de derivación, etc.) y así determinar sus efectos en otros componentes, instalaciones o personas. Esta técnica aplica una metodología analítica interactiva, descriptiva y cualitativa que promueve, a partir del conocimiento y la información disponible, el razonamiento sistemático y lógico como medio para mejorar significativamente la comprensión de las fuentes de riesgo y la justificación de las decisiones sobre seguridad de presas.

La FMEA es una herramienta versátil con alcance potencial para la aplicación en la evaluación de la seguridad de presas, específicamente para la identificación de riesgos y el análisis cualitativo de estos. Los resultados del FMEA son útiles para mapear los impactos de todos los eventos que pueden ocurrir durante la construcción, operación y cierre de un depósito de relaves. Asimismo, se puede, identificar y priorizar las acciones de control, detección y mitigación necesarios.

Para la elaboración de un FMEA es necesario tener en cuenta los procedimientos evaluados anteriormente; es decir, el mapeo de peligros y su asociación con los modos de falla creíbles (matriz de modos de falla versus peligros). Además, para completar la matriz FMEA se tiene que determinar la severidad o efectos de fallas potenciales, determinar la ocurrencia o probabilidad, determinar los métodos de detección de fallas y posteriormente priorizar los riesgos en función al Nivel Prioritario del Riesgo (NPR). La determinación de estas variables se detallará en los ítems siguientes, para ello se deberá seguir algunos procedimientos y elegir un criterio de evaluación para tener una valoración en cada parámetro. Para ello se han considerado algunos criterios considerados en el Decreto Supremo N°023-2017-EM, manuales para la determinación de riesgos (CENEPRED, 2015), guías de gestión de riesgo, guías de seguridad de presas (CDA, 2014), estándar global de gestión de relaves para la industria minera (ICMM, 2020), entre otros.

A continuación, en la Figura N° 3.14 se muestra un resumen de los procesos a seguir para la elaboración de una matriz FMEA.

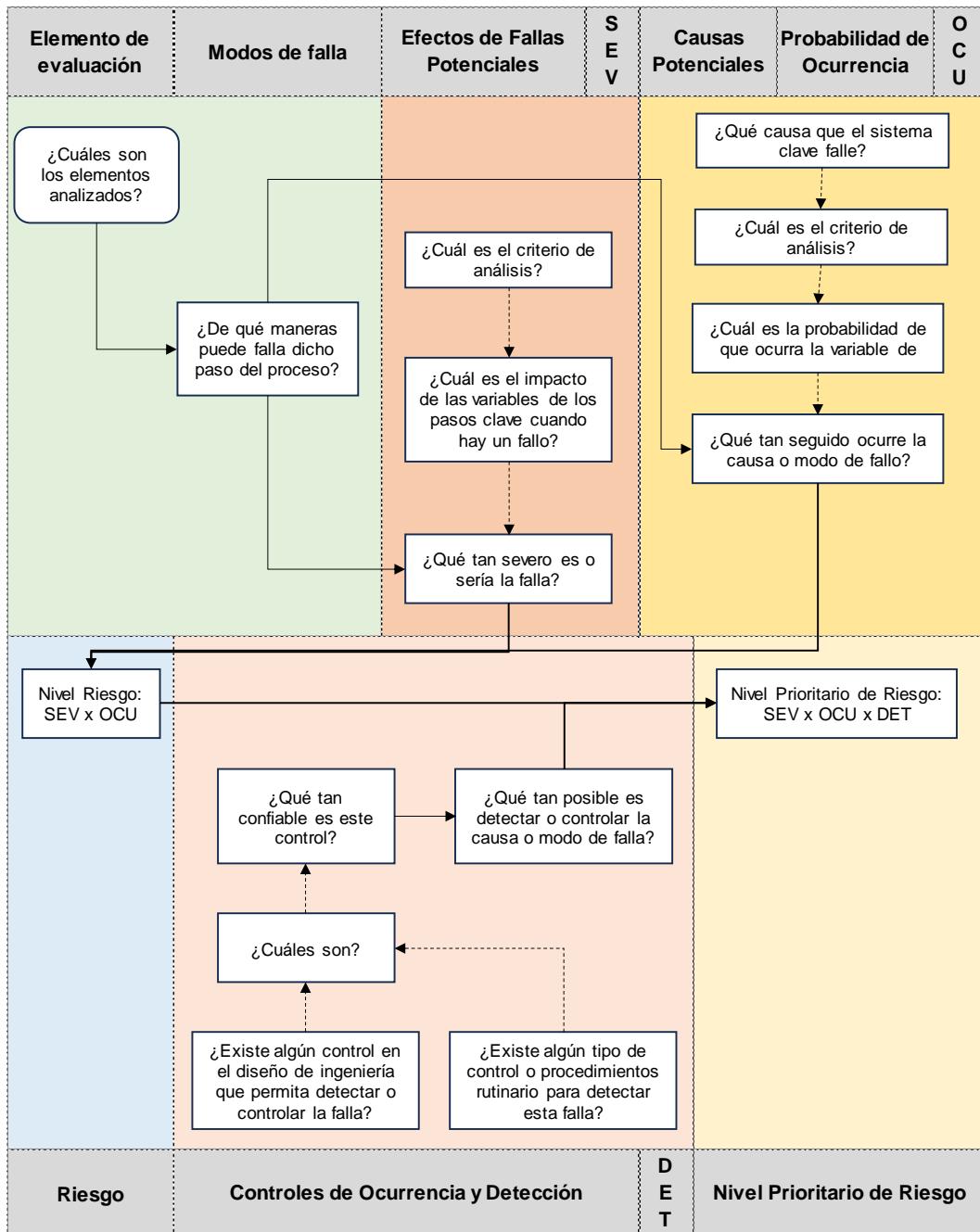


Figura N° 3.14. Procesos a Seguir para la Elaboración del FMEA

3.5.1 Determinación del Índice de Severidad

El índice de Severidad determina la importancia o severidad del efecto del modo de falla potencial (modo de falla creíble) y valora el nivel de consecuencias, con lo que el valor del índice aumenta en función de la severidad del mismo, para la evaluación de la severidad se ha considerado 5 niveles, estos han sido adaptados según el Decreto Supremo N°023-2017-EM los cuales consideran niveles que van desde una de severidad Menor a una Severidad Catastrófica, estos niveles

consideran diferentes criterios de análisis, para el presente estudio se tomó como referencia los criterios de acuerdo al estándar global para la gestión de relaves presentada por el Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, por sus siglas en inglés) donde se evalúa las consecuencias incrementales para cada una de las siguientes categorías:

- Población Potencial en Riesgo (PAR, *Population At Risk*);
- Pérdida potencial de vidas (PLL, *Potential Loss of Life*);
- Daños ambientales;
- Daños a la salud, social y cultural;
- Daños a la infraestructura; y
- Economía.

En la Tabla N° 3.7 se detalla los índices y criterios de severidad adaptado del ICMM. Cabe señalar que en la presente tesis se ha considerado los criterios de severidad del ICMM ya que es uno de los criterios presentados recientemente; además, en comparación a otros, este considera mayores alcances para cuantificación de consecuencias dentro de sus parámetros de análisis. Sin embargo; esto no descarta la posibilidad de considerar otros lineamientos de evaluación para determinación de severidad, entre los cuales se podría considerar el Decreto Supremo N°023-2017-EM, la clasificación de severidad según el ANCOLD, la clasificación de la CDA, entre otros (ver **item2.3**).

Para determinar el índice de severidad asociado al modo de falla se debe tener en cuenta las posibles consecuencias que desencadenaría el mecanismo de falla, lo que involucraría realizar un análisis cualitativo de la falla del depósito de relaves y considerar huellas de inundación preliminares con las que se determinen las posibles afectaciones (consecuencias o pérdidas incrementales). Una vez cuantificado las posibles pérdidas, se deberá de seleccionar el criterio de análisis más crítico (PAR, PLL, daños ambientales, daños a la Infraestructura y economía, etc.) y clasificar considerando el impacto de consecuencia (¿Cuál es el impacto de esta variable cuando hay un fallo?). Una vez clasificado la severidad se obtendrá la valoración de esta los cuales van desde el 1 (menos severo - bajo) hasta el 5 (más severo - catastrófico), de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 3.7.

Tabla N° 3.7. Índices y Criterios de Severidad adaptado del ICMM

Rating	Severidad	Pérdidas Incrementales				
		Población potencial en riesgo	Pérdida potencial de vidas	Medio Ambiente	Salud, ámbito cultural y social	Infraestructura y economía
1	Menor	Ninguna	Ninguna esperada	A corto plazo, mínima pérdida o deterioro de hábitat o de especies raras y en peligro de extinción.	Efectos mínimos e interrupción ligera de las actividades económicas y medios de subsistencia. Ningún efecto medible sobre la salud humana. Ninguna alteración del patrimonio, o los bienes comunitarios, culturales o recreativos.	Pérdidas económicas bajas; el área contiene escasa infraestructura o servicios. (<USD 1M)
2	Temporal	1 – 10	Sin especificar	Ninguna pérdida o deterioro de hábitat significativos. Relaves sin potencial generación de ácido y con bajo potencial de lixiviación neutra. Restauración posible (1 a 5 años).	Interrupción significativa de actividades económicas y servicios. Baja probabilidad de pérdida de patrimonio o bienes comunitarios, culturales o recreativos regionales. Baja probabilidad de efectos en la salud.	Pérdidas en instalaciones recreativas, lugares de trabajo estacionales y rutas de transporte de uso poco frecuente. (<USD 10M)
3	Permanente	10 – 100	Posible (1-10)	Significativa pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Agua de proceso moderadamente tóxica. Área potencial de impacto (10 - 20 km ²). Restauración posible (difícil, > 5 años).	500-1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios. Perturbación del patrimonio regional, de los bienes comunitarios o culturales, instalaciones recreativas. Posibilidad de efectos en la salud humana a corto plazo.	Grandes pérdidas económicas que afectan la infraestructura, el transporte público, las instalaciones comerciales o el empleo. Moderada reubicación o indemnización a las comunidades. (<USD 100M)
4	Fatalidad	100 - 1000	Probable (10-100)	Importante pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto (>20 km ²). Restauración o indemnización posible, pero muy difícil, requiere un largo período (5 a 20 años).	>1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, destrucción de patrimonio nacional, de instalaciones comunitarias o bienes culturales. Posibilidad de efectos significativos en la salud humana a largo plazo.	Pérdidas económicas muy grandes, que afectan a importantes obras de infraestructura o servicios (autopistas, instalaciones industriales). Importante reubicación/compensación para las comunidades. (<USD 1B)
5	Catastrófico	> 1000	Mucho (más de 100)	Pérdida catastrófica de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto >20 km ² . Imposible restauración o compensación en especie, se requiere de un largo período (>20 años).	>5000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, destrucción de patrimonio o de instalaciones comunitarias o bienes culturales a nivel nacional. Posibilidad de efectos graves en la salud humana y/o a largo plazo.	Pérdidas económicas extremas que afectan la infraestructura o los servicios críticos (hospitales, complejos industriales importantes). Reubicación/compensación muy importante a las comunidades y costos de reajuste social muy altos. (>USD 1B)

Fuente: Estándar Global de Gestión de Relaves para la Industria Minera (ICMM-2020)

3.5.2 Determinación del Índice de Ocurrencia

El índice de Ocurrencia está relacionado a la probabilidad de que una causa potencial de falla (causa específica - peligro) se produzca y de lugar al modo de falla. Las probabilidades se encuentran identificadas en un rango que va desde muy bajo o despreciable (probabilidad ocurrencia más baja / 1) a Muy alta (mayor probabilidad de ocurrencia / 5) de conformidad con el marco de gestión de riesgos. La posibilidad o probabilidad del evento es establecido en base a la descripción del mismo. Cabe señalar que la clasificación se determina de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia del evento asociado a un criterio de evaluación. La Tabla N° 3.8 muestra las categorías de probabilidad utilizadas en el presente análisis la cual se encuentra en concordancia con los lineamientos presentados en el D.S. N°023-2017-EM. Se trata de una evaluación subjetiva, por lo que se recomienda, si se dispone de información, utilizar datos históricos o estadísticos.

Tabla N° 3.8. Índices y Criterios de Ocurrencia

Rating		Ocurrencia	Categorías de Ocurrencia			
			Criterio Histórico	Criterio Operativo	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Periodo de Retorno Anual (años)
5	A	Muy alto	Este evento puede ocurrir al menos una vez por año	El evento ocurrirá probablemente en muchas circunstancias	Mayor que 50%	< 2
4	B	Alto	Este evento puede ocurrir en un periodo de tiempo de 5 años.	El evento debe ocurrir alguna vez	5% - 50%	2 - 20
3	C	Moderado	Este evento puede ocurrir en un periodo de tiempo de 20-50 años.	El evento podría ocurrir alguna vez	0.1% - 5%	20 - 1,000
2	D	Bajo	Este evento no ha ocurrido en la industria en los últimos 50 años.	El evento puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales	0.01% - 0.1%	1,000 - 10,000
1	E	Despreciable	Por un riesgo natural (terremoto, inundación, tormenta, etc.): el periodo de retorno es de 1 en 10000 años o más.	El evento no debería ocurrir	Menos de 0.01%	> 10,000

Fuente: D.S. N°023-2017-EM / AMEC 2016

3.5.3 Determinación de Índice de Detección

El índice de detección indica qué tan eficiente son los controles en las operaciones o estaciones de trabajo e incluso ayuda a conocer si es posible detectar una falla potencial. Para determinar este índice se tiene que verificar si existe control en el diseño de ingeniería que permita detectar o controlar la falla (ejemplo: construcción de aliviadero de descarga para eventos meteorológicos extremos) y si existe algún tipo de control o procedimientos rutinarios para detectar un modo o tipo de falla (ejemplo: registro de niveles de operación en laguna sobrenadante).

En la Tabla N° 3.9 se presentan los criterios de detección, los cuales se encuentran en un rango que va desde muy alta (mayor posibilidad de detección / 1) a muy remota (posibilidad de detección más baja / 5), estos criterios deben responder a que tan confiables son los controles y que tan posible es detectar o controlar la causa del modo de falla.

Tabla N° 3.9. Índices y Criterios de Detección

Rating	Detección	Posibilidad de detección
5	Muy remota	Muy remota posibilidad de detectar una posible causa de falla o un modo de falla posterior, o no hay control de diseño
4	Baja	Baja posibilidad de detectar una posible causa de falla o un modo de falla posterior
3	Moderada	Moderada posibilidad de detectar una posible causa de falla o un modo de falla posterior
2	Alta	Alta posibilidad de detectar una posible causa de falla o un modo de falla posterior
1	Muy alta	Muy alta posibilidad de detectar una posible causa de falla o un modo de falla posterior

Fuente: Adaptación de los criterios de detección del ASQ (*American Society for Quality*)

3.5.4 Evaluación de Riesgos

Para el proceso de evaluación de riesgos resulta fundamental conocer el significado de "riesgo", el cual se define como "la posibilidad de pérdida", tal como se comentó en el **ítem 2.4**, el concepto de riesgo está conformado por dos componentes: estos vendrían a ser, la ocurrencia de un evento y los efectos adversos producidos por el evento en caso de producirse. De manera más simple, el riesgo podría expresarse como:

$$\text{Riesgo} = \text{Ocurrencia (OCU)} \times \text{Severidad (SEV)}$$

Donde:

- Ocurrencia (OCU): Probabilidad de ocurrencia del modo de falla.
- Severidad (SEV): Consecuencias de posible falla.

Con el fin de identificar el riesgo de manera apropiada, tanto la probabilidad de un evento de falla (Ocurrencia) y sus impactos/consecuencias (Severidad) deben ser considerados.

En la Tabla N° 3.10 se muestra la matriz de evaluación de riesgos donde se muestra en el eje horizontal, las categorías de probabilidad (frecuencia-ocurrencia) y en el eje vertical, la clasificación de consecuencias (severidad) que se combinan para asignar un nivel de riesgo.

Los niveles de clasificación de riesgo se detallan en la Tabla N° 3.11, los cuales se encuentran en un rango que va desde Bajo (valores entre 0 y 3) a muy alto (valores superiores a 16).

Tabla N° 3.10 Matriz de Evaluación Riesgo

Severidad	Catastrófico	5	25	20	15	10	5
	Fatalidad	4	20	16	12	8	4
	Permanente	3	15	12	9	6	3
	Temporal	2	10	8	6	4	2
	Menor	1	5	4	3	2	1
		5	4	3	2	1	
		Muy Alto	Alto	Moderado	Bajo	Despreciable	
Frecuencia (Ocurrencia)							

Fuente: Adaptado de D. S. N°023-2017-EM y CENEPRED, 2015

Tabla N° 3.11. Niveles de clasificación de Riesgo

Nivel de Riesgo	Valor	Estrategia
Muy Alto	17 - 25	Control Inmediato
Alto	10 - 16	Reducir Riesgo
Medio	4 - 9	Mitigar
Bajo	0 - 3	Prevención

Fuente: Adaptado de D. S. N°023-2017-EM y CENEPRED, 2015

Una vez determinado el nivel de riesgo se podrá determinar los niveles prioritarios de riesgos, los cuales consisten en evaluar los niveles de riesgo considerando los controles de detección comentados y clasificados en el **ítem 3.5.3**.

El nivel prioritario de Riesgo (NPR) viene a ser el valor obtenido de la multiplicación de los índices de Severidad, Ocurrencia y Detectabilidad, por lo que a mayores valores obtenidos conlleva a dar prioridad a los NPR más altos.

A continuación, en la Tabla N° 3.12 se detalla la matriz de evaluación de riesgos. En el eje horizontal se muestra la categoría de detección y en el eje vertical, la clasificación de riesgo (SEV x OCU) que se combinan para asignar un nivel prioritario de riesgo.

Tabla N° 3.12. Matriz de niveles prioritarios de Riesgo.

Riesgo (SEV x OCU)	Muy alto	25	125	100	75	50	25
		20	100	80	60	40	20
	Alto	16	80	64	48	32	16
		10	50	40	30	20	10
	Medio	9	45	36	27	18	9
		4	20	16	12	8	4
	Bajo	3	15	12	9	6	3
		1	5	4	3	2	1
		5	4	3	2	1	
	Muy remota	Baja	Moderada	Alta	Muy alta		
Detectabilidad							

A continuación, en la Tabla N° 3.13 se presentan la clasificación de los niveles de prioridad de riesgo, los cuales van desde un rango Bajo (Valores entre 0-6) hasta un rango Muy Alto (valores mayores a 65).

Tabla N° 3.13. Clasificación de Niveles prioritarios de Riesgo

Nivel de Prioridad de Riesgo	Valor	Estrategia de Control
Muy Alto	65 - 125	Control Inmediato
Alto	28 - 64	Reducir Riesgo
Medio	7 - 27	Mitigar
Bajo	0 - 6	Prevención

3.6. SELECCIÓN DE MODOS DE FALLA CREÍBLES PARA ESCENARIOS SUNNY DAY Y RAINY DAY

Según las pautas de seguridad de presas CDA (2007, revisadas en 2013) se deben de identificar dos (02) y el boletín técnico de análisis de rotura de presas de relaves de la CDA (2021) recomienda la evaluación de dos (02) escenarios hidrológicos y la selección de escenario representativos basados en mecanismos de falla creíbles. Estos escenarios hidrológicos son:

- **Escenario *Sunny Day* (día soleado):** comprende una falla repentina de la presa que ocurre durante condiciones hidrológicas normales (es decir, no debido a una tormenta o inundación), donde no se considera ningún evento de tormenta o inundación desencadenante, además no hay advertencias anticipadas de fallas en las áreas aguas abajo en este escenario esto debido a que la falla de la presa podría desarrollarse durante las operaciones normales ya sea el caso de un colapso por pérdida de resistencia o por sobrepaso. En este escenario se considera que las inundaciones aguas abajo del depósito son causadas únicamente por la falla de la presa, por lo que las pérdidas o consecuencias incrementales serían responsabilidad de la falla de la presa. Algunos expertos en estos tipos de análisis consideran que se debería de considerar un caudal promedio de los cuerpos de agua existentes aguas abajo del depósito de relaves en análisis.

- **Escenario Rainy day (día lluvioso):** comprende una falla provocada por precipitaciones extremas y/o inundaciones. La falla de la presa generalmente se asocia con modos de falla por desborde o sobrepaso (según el diseño de la presa y el volumen de almacenamiento disponible). Puede haber alguna advertencia avanzada en el depósito de relaves (por ejemplo, mediante el monitoreo de los niveles de almacenamiento en aumento). Una inundación que es igual o mayor que la inundación de diseño de flujo de entrada (IDF) se usa típicamente para este escenario; sin embargo, los impactos incrementales aguas abajo también se pueden analizar usando un delta de inundaciones tanto para la falla de la presa como para los receptores aguas abajo, en otras palabras, se debe tener en cuenta la inundación no solo aguas arriba del depósito de relaves sino en toda la cuenca de análisis.

Como parte de la metodología propuesta para la identificación de estos escenarios, se tiene que tomar en cuenta las características hidrológicas de los modos de falla que cuentan con niveles prioritarios de riesgo mayores, es decir, según lo evaluado en el ítem anterior los modos de falla que obtengan los mayores valores de prioridad de riesgo deberán evaluarse si están relacionados a un evento hidrológico *sunny day* o *rainy day*. Esta selección de escenario se puede identificar, respondiendo a la siguiente pregunta: ¿El modo de falla creíble está relacionado a un evento hidrológico de condiciones normales?, en caso la respuesta es “Sí”, se trataría de un escenario *Sunny Day*, caso contrario se trataría de un escenario *Rainy Day*.

Por ejemplo, si se cuenta con un modo de falla por pérdida de resistencia ocasionado por un sismo, ello estaría relacionado a un evento hidrológico de condiciones normal (*Sunny Day*), por otro lado, si se cuenta con un modo de falla creíble debido a una capacidad de descarga inadecuada instalada donde el flujo meteorológico de ingreso es mayor que el de la capacidad de descarga se trataría de un mecanismo de falla asociado a un escenario hidrológico *Rainy Day*.

Una vez definida las condiciones hidrológicas para los mayores niveles prioritarios de riesgo se obtendrán los modos de falla creíble para su evaluación, logrando el objetivo principal del estudio, el cual implica seleccionar estos escenarios.

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos específicos planteados en la tesis de estudio, se ha considerado la aplicación de la metodología al depósito de relaves Quiulacocha (ubicado en la provincia y distrito de Pasco), ya que este representa un peligro para las comunidades Quiulacocha, Yurajhuana y Rancas. Esta relavera, en el 2021 contó con reportes de peligro inminente presentados por el INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil), advirtiendo el probable desembalse de la relavera Quiulacocha producto de las lluvias extraordinarias presentadas en la zona, logrando que el nivel de agua se incremente hasta 0.5 m por debajo del nivel de la corona del dique principal. Más adelante en febrero del 2022, la empresa estatal activos mineros (AMSAC) reportó un evento similar, representando un riesgo por desbordamiento y afectación a las poblaciones que se encuentran aguas abajo de este.

Considerando los antecedentes descritos anteriormente, la relavera Quiulacocha representa un buen objeto de estudio para la aplicación de la metodología propuesta.

4.1. RECOLECCIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN

4.1.1 Ubicación del Depósito de Relaves

El depósito de relaves Quiulacocha se encuentra ubicado entre el límite del centro poblado Quiulacocha y la comunidad Champamarca, en el distrito de Simón Bolívar, provincia y región de Pasco (Ver Figura N° 4.1, mayores detalles en el Mapa de Ubicación M-01), este depósito se ubica al sur oeste de la ciudad de Pasco, la cual a su vez se encuentra a 260 km de la capital (Lima).

En la Tabla N° 4.1 se muestra las coordenadas geográficas UTM donde se encuentra ubicado el depósito de relaves Quiulacocha.

Tabla N° 4.1. Ubicación geográfica del Depósito de Relaves Quiulacocha

Componente	Coordenadas Geográficas (UTM -WGS84-18S)		Elevación m.s.n.m.	ID-PAM- MINEM
	ESTE	NORTE		
Quiulacocha	360179	8816934	4272	8817130

Fuente: Inventario de Pasivos Ambientales Mineros – (MINEM, 2022)

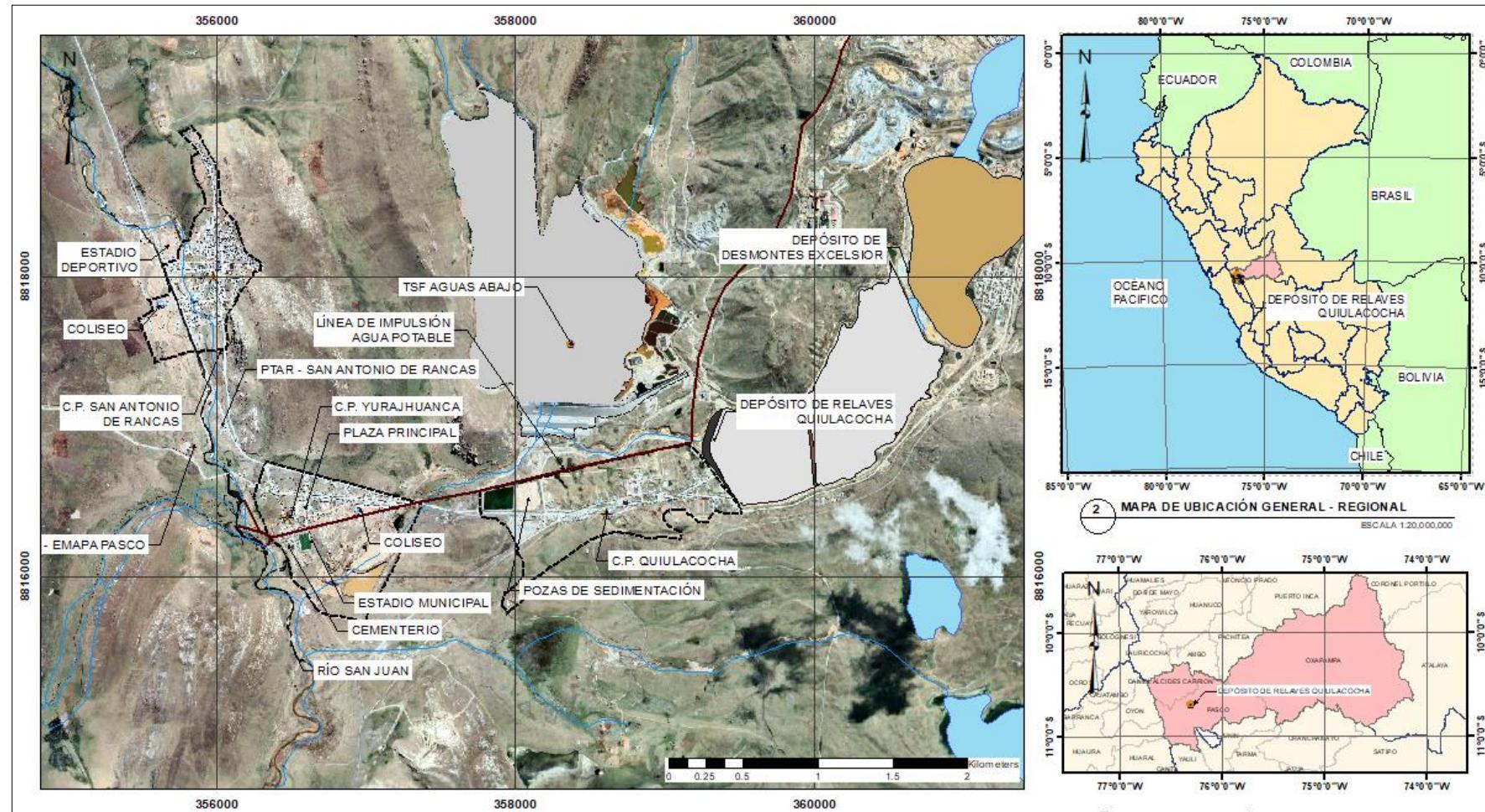


Figura N° 4.1. Ubicación general del área de estudio – Depósito de Relaves Quiulacocha.

4.1.2 Historia del Depósito de Relaves en Estudio

El depósito de relaves Quiulacocha se encontró en operación entre los años 1943 y 1992, los relaves depositados provenían de la planta concentradora Paragsha en un inicio, años más tarde en 1979 se le sumó los relaves desde la planta concentradora San Expedito. Estos relaves depositados provenían de un yacimiento de Pb-Zn y de Cu de alta Sulfuración.

La deposición de relaves se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo, consistía en llenar de relaves al valle cerrado con un dique principal, el cual se encontraba ubicado cerca del centro poblado Quiulacocha. Los relaves se encuentran depositados en un área de 110 hectáreas y se tiene acumulado aproximadamente un total de 78 millones de Toneladas. Aguas arriba de la relavera se construyó el depósito de desmontes Excélsior, el cual empezó su operación en el año 1956 hasta el año 2000, actualmente este depósito de desmontes se encuentra en la etapa final de cierre, donde se viene culminando las obras de estabilización hidrológica y geotécnica.

Respecto a las empresas encargadas del manejo y operación del depósito de relaves Quiulacocha se tiene que:

- Al inicio de sus operaciones se encontraba a cargo de la Cerro de Pasco Corporation, la cual se nacionalizó en el año 1974 y fue desde ahí que CENTROMIN se hizo cargo de este depósito de relaves.
- En 1999 se privatiza la unidad Cerro de Pasco y CENTROMIN transfiere temporalmente (1 año) el depósito de relaves Quiulacocha y el depósito de desmontes Excélsior a Volcan Compañía Minera S.A.A.
- En el 2000 CENTROMIN, vuelve a asumir la responsabilidad de remediar el depósito de relaves Quiulacocha y el depósito de desmontes Excélsior y se considera a estos en estado de abandono.
- En el año 2005 se aprueba la ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera y su reglamento aprobado en el D.S. 059-2005-EM, que establece al MINEM como responsable de identificar e inventariar los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) en estado de abandono e inactivos.
- En el 2006, el MINEM encarga a AMSAC (Activos Mineros SAC) la remediación de estos pasivos mineros (Quiulacocha y Excélsior). Es desde

ese año que la empresa estatal AMSAC está encargada de todos los trabajos relacionados con el plan de cierre de Quiulacocha. En la actualidad se viene llevando a cabo los estudios de plan de cierre para esta relavera.

A continuación, en la Figura N° 4.2 se muestra en una línea de tiempo el resumen de eventos importantes durante el ciclo de vida del depósito de relaves Quiulacocha.

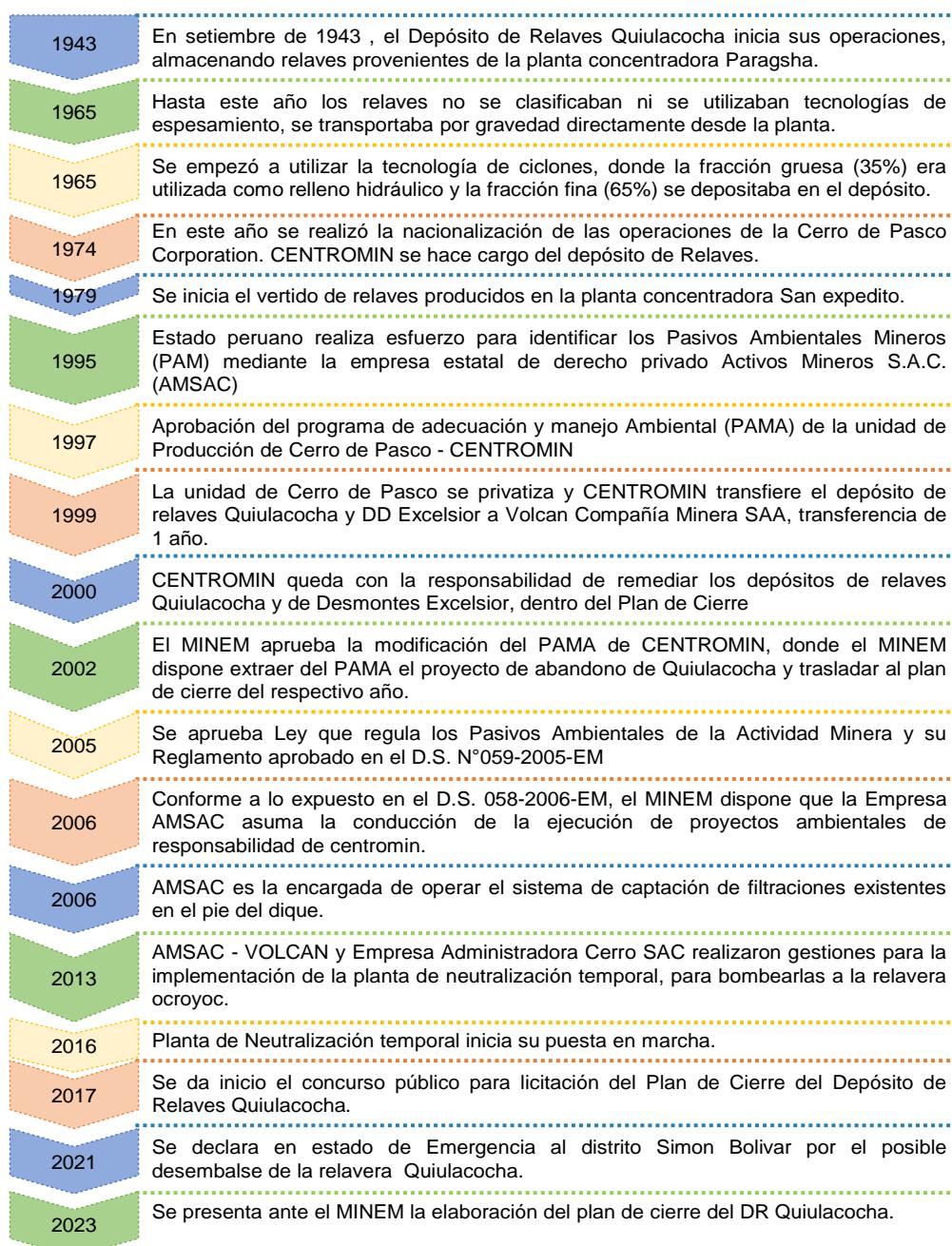


Figura N° 4.2. Línea de Tiempo del ciclo vida del depósito de relaves Quiulacocha.

4.1.3 Topografía y Batimetría

AMSA como parte de la elaboración del plan de cierre encargó a Consorcio Yanamate, la elaboración del estudio topográfico y batimétrico. Según la información revisada se cuenta con topografía actualizada al año 2022, en la Figura N° 4.3 se muestra el área de levantamiento y la ortofoto resultante como parte del levantamiento fotogramétrico.

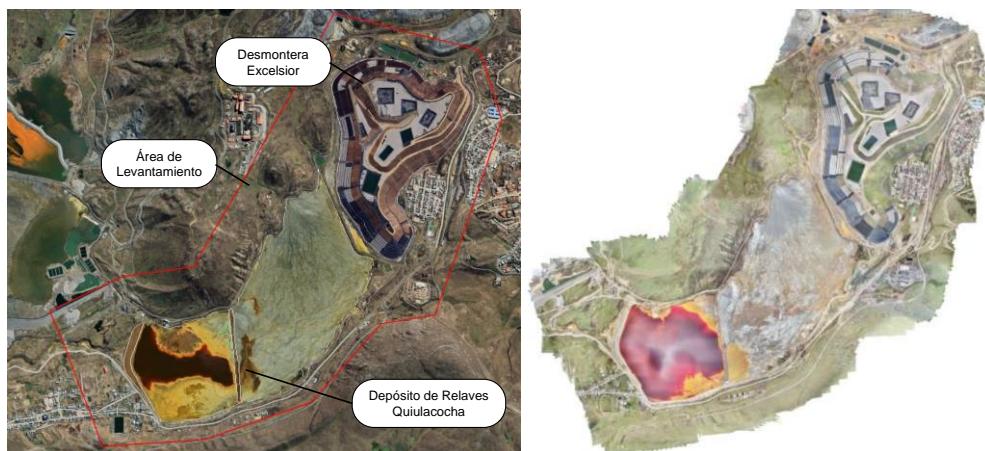


Figura N° 4.3. Límite de área con disponibilidad de topografía a detalle.

Fuente: Consorcio Yanamate (2023a)

Asimismo, se cuenta con información batimétrica. Los resultados batimétricos ayudan a determinar la curva área, altura y volumen del *pond* de agua existente (laguna sobrenadante), desde la menor elevación (fondo - 4252.8 msnm) hasta la elevación de la corona del dique (4256.8 msnm). Esta curva de interés para evaluar el comportamiento de los niveles se muestra en la Figura N° 4.4.

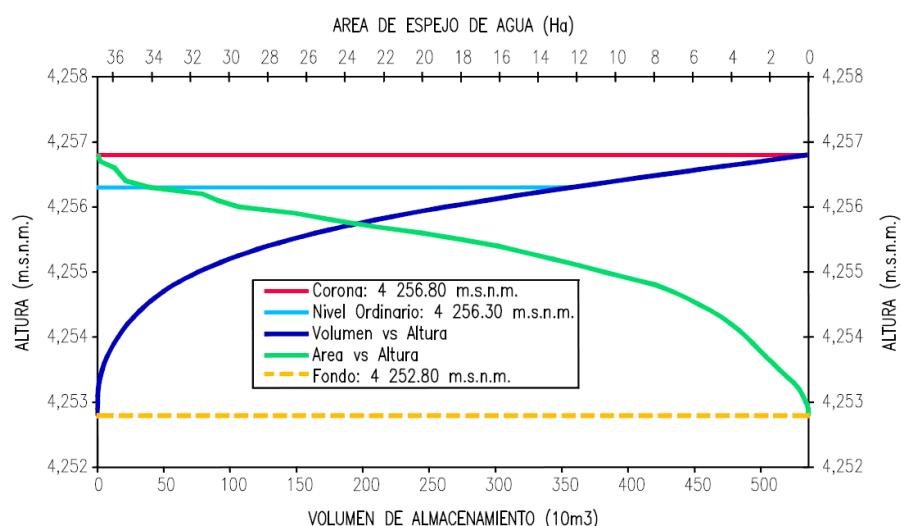


Figura N° 4.4. Curva Área, Altura y Volumen del *Pond* del Depósito de Relaves Quiulacocha

Fuente: Consorcio Yanamate (2023a)

4.1.4 Geología

El área de estudio se encuentra cubierto en su gran mayoría por depósitos cuaternarios y material antrópico, en los alrededores del depósito de relaves Quiulacocha se aprecian pequeños afloramientos de la Formación Pocabamba y Grupo Cabanillas (Anteriormente denominada como la unidad litológica el grupo Excélsior). Esta área de estudio se caracteriza por una moderada actividad glacial con acumulación de morrenas y de depósitos fluvioglaciares.

En resumen, las unidades geomorfológicas y geológicas locales que afloran en el área de estudio son:

- Estratigrafía Local, compuesta por el Grupo Cabanillas (Ex grupo Excélsior), la Formación Pocabamba y depósitos Cuaternarios, entre los cuales se puede mencionar a depósitos glaciares (depósitos glaciares morrénicos formados por erosión y posterior sedimentación), depósitos coluviales (originados por meteorización de macizo rocoso), deposito antrópicos (alteración producto de la intervención del hombre, carreteras desmonteras, chacras, etc.).
- Geología estructural, esta se encuentra controlado por el sistema de fallamiento andino, siendo paralelo al eje de plegamiento NO-SE, buzamiento casi vertical y son principalmente casi convergentes al suroeste.
- Geodinámica Local, procesos geodinámicos como la erosión en forma de surcos, caída de rocas y cursos de agua que cruza el depósito, estos últimos afectarían de menor a mayor medida la estabilidad del depósito.
- Geomorfología, conformada por planicies y lomadas o colinas. Las planicies son consideradas cuando las áreas presentan pendientes suaves de 0 a 15%, mientras que las lomadas o colinas se denominan a aquellas áreas que presentan elevaciones y pueden variar en altitud, en el área de estudio se presentan lomadas producto del afloramiento del conglomerado en el flanco izquierdo y cuarcitas, filitas en el flanco derecho.

A continuación, en la Figura N° 4.5 se muestra las principales unidades litoestratigráficas que se encuentran en el área de estudio.

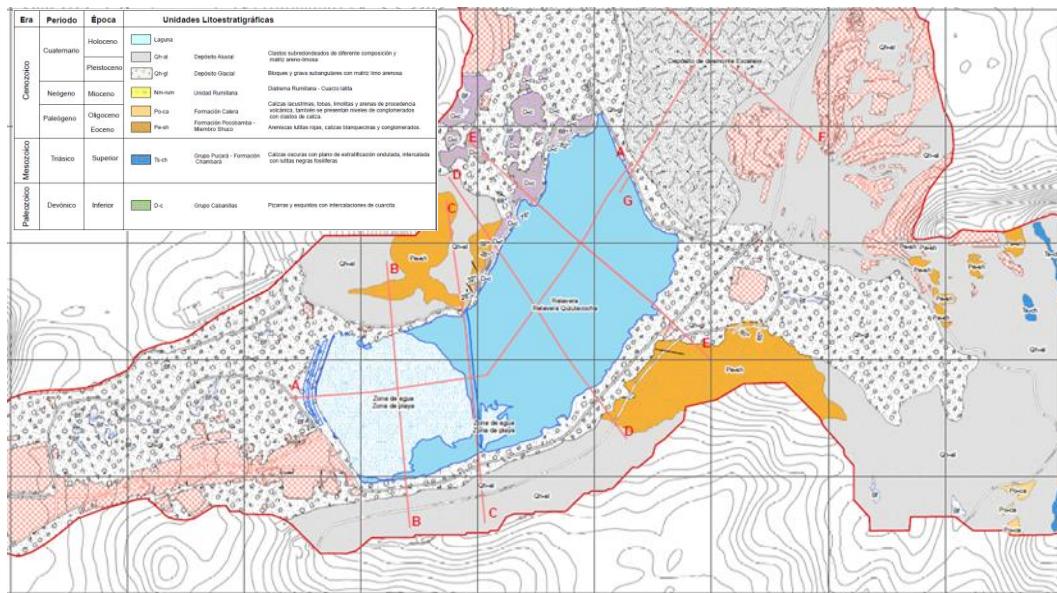


Figura N° 4.5. Vista general de unidades Litoestratigráficas en la zona de estudio – Geología Local

Fuente: Engineers & Environmental Perú S.A. (E&E, 2023a)

Asimismo, según las perforaciones alrededor de la relavera que realizó E&E como parte de la elaboración del plan de cierre del depósito de relaves Quiulacocha, muestran que este depósito se encuentra emplazado sobre depósitos glaciares y debajo de rocas metamórficas del Grupo Cabanillas (ex Grupo Excélsior). En la Figura N° 4.6 se muestra una sección geológica (perfil longitudinal de SO a NE) a lo largo del depósito de relaves Quiulacocha.

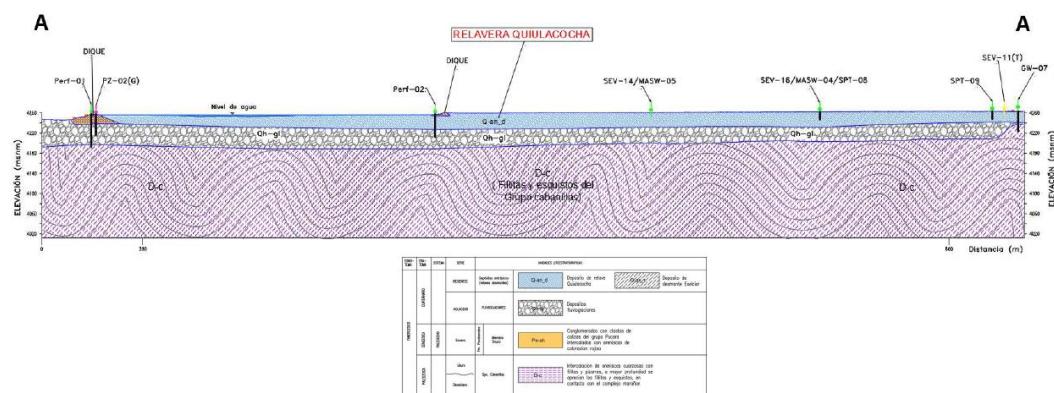


Figura N° 4.6. Perfil Longitudinal – Sección Geológica del Depósito de Relaves Quiulacocha

Fuente: E&E, 2023a

4.1.5 Estudio de Peligro Sísmico

En área de interés, se cuenta con varios estudios relacionados al peligro sísmico, estos estudios, según la sismicidad histórica en la zona, muestran que en el área de estudio se han producido movimientos sísmicos con intensidades de hasta VI grados en la escala Mercalli Modificada (MMI) producto de la actividad sísmica de la zona de subducción y la zona subandina.

En el 2021, ZER Geosystem Perú S.A.C (ZER), realizó la actualización del peligro sísmico de una zona cercana al área de estudio (relavera Ocroyoc), los resultados obtenidos son representativos para el depósito de relaves Quiulacocha debido a su cercanía (< 1Km). ZER determinó las aceleraciones máximas horizontales considerando un suelo tipo B ($V_{S30} > 760 \text{ m/s}$) y un factor de amortiguamiento del 5% para eventos sísmicos de diferentes períodos de retorno (100, 250, 475, 975, 2475, 5000 y 10000 años), la estimación probabilística es calculada para el componente horizontal promedio de movimiento en términos de Aceleración Pico del Terreno (PGA, por sus siglas en inglés). El análisis también consideró la incorporación de modelos de atenuación desarrollados recientemente por el PEER (*Pacific Earthquake Engineering Research Center*) como parte del estado de la práctica actual en la ingeniería sísmica.

Los resultados obtenidos en el análisis de peligro sísmico probabilístico – Suelo Tipo B se detallan en la Tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2. Resultados Análisis Peligro Sísmico probabilístico para la zona de evaluación

Período de Retorno	PGA (g)	0.20 s	1.00 s
100	0.19	0.44	0.09
250	0.29	0.68	0.15
475	0.38	0.89	0.19
1000	0.50	1.20	0.26
2475	0.68	1.67	0.36
5000	0.84	2.08	0.46
10000	1.03	2.60	0.58

Fuente: ZER, 2021

Por otro lado, el análisis sísmico determinístico se realizó considerando los eventos de subducción interface e interplaca con magnitudes de $M_w=9.0$ y $M_w=8.0$, respectivamente.

En la Tabla N° 4.3 se muestran los resultados del análisis sísmico determinístico, donde se muestran los espectros calculados para un percentil 50 y 84.

Tabla N° 4.3. Resultados Análisis Peligro Sísmico Determinístico para la zona de evaluación-
Suelo Tipo B

Evento	Percentil	Sa 0.00 s (g)	Sa 0.20 s (g)	Sa 1.00 s (g)
Sismo Intraplaca Mw=9.0 X= 156 km Z=55 km	P.50	0.088	0.176	0.069
	P.84	0.189	0.394	0.155
Sismo Intraplaca Mw=8.0 X= 65 km Z=80 km	P.50	0.337	0.84	0.183
	P.84	0.743	1.922	0.402
Sismo Intraplaca Mw=8.0 X= 50 km Z=96 km	P.50	0.347	0.854	0.185
	P.84 ⁽¹⁾	0.759	1.938	0.404
E1 - Sistema de Fallas Cayesh (ATA_265) Mw=6.7 D=2.7 km Z= 12 km	P.50	0.365	0.844	0.274
	P.84	0.659	1.6	0.552
E2 - Sistema de Fallas Cayesh (ATA_262) Mw=6.8 D=20.4 km Z= 12 km	P.50	0.122	0.28	0.083
	P.84	0.221	0.53	0.169

(1) Sismo Máximo Creíble (MCE, por sus siglas en inglés)

Fuente: ZER 2021

El sismo máximo considerado (MCE_{PROB}, por sus siglas en inglés) puede ser estimado de manera probabilística y determinística, de acuerdo con el International Building Code (IBC, 2015) y el estándar “*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*” de la American Society of Civil Engineers (ASCE SEI 7, 16), determinado probabilísticamente el MCE puede ser representado en un espectro de respuesta medio determinado para un período de retorno de 2475 años. Por otro lado, según los lineamientos del “*Bulletin 72: Selecting Seismic Parameters For Large Dams*” (ICOLD, 2010) el sismo máximo creíble (MCE_{DET}) es el sismo de mayor magnitud razonablemente concebible que se considera posible a lo largo de una falla conocida o dentro de una provincia tectónica geográficamente definida, bajo un marco tectónico conocido o supuesto.

Consecuentemente, de la evaluación del análisis determinístico se desprende que el evento de subducción interplaca evaluado puede ser considerado como el Sismo máximo creíble para prácticamente todo el rango de períodos. El valor del sismo máximo creíble MCE_{DET}, corresponde al sismo de interplaca de magnitud Mw=8.0, distancia epicentral 50 km y profundidad de 96 km, al que le corresponde un valor de PGA de 0.759 g.

4.1.6 Hidrología

La información hidrológica disponible en el depósito de relaves fue elaborada por Consorcio Yanamate, por encargo de la empresa estatal AMSAC. Entre los principales parámetros climáticos determinados en el estudio hidrológico se cuenta con el análisis de la variación de la precipitación total mensual, evaporación total mensual, temperatura media mensual y la variación de humedad relativa, estas variaciones se muestran en la Figura N° 4.7, estos parámetros fueron determinados considerando los registros disponibles en la estación Cerro de Pasco, esta estación meteorológica (administrada por el SENAMHI) se ubica dentro de la cuenca de aporte en el área de estudio, representando correctamente las características meteorológicas existentes en la zona.

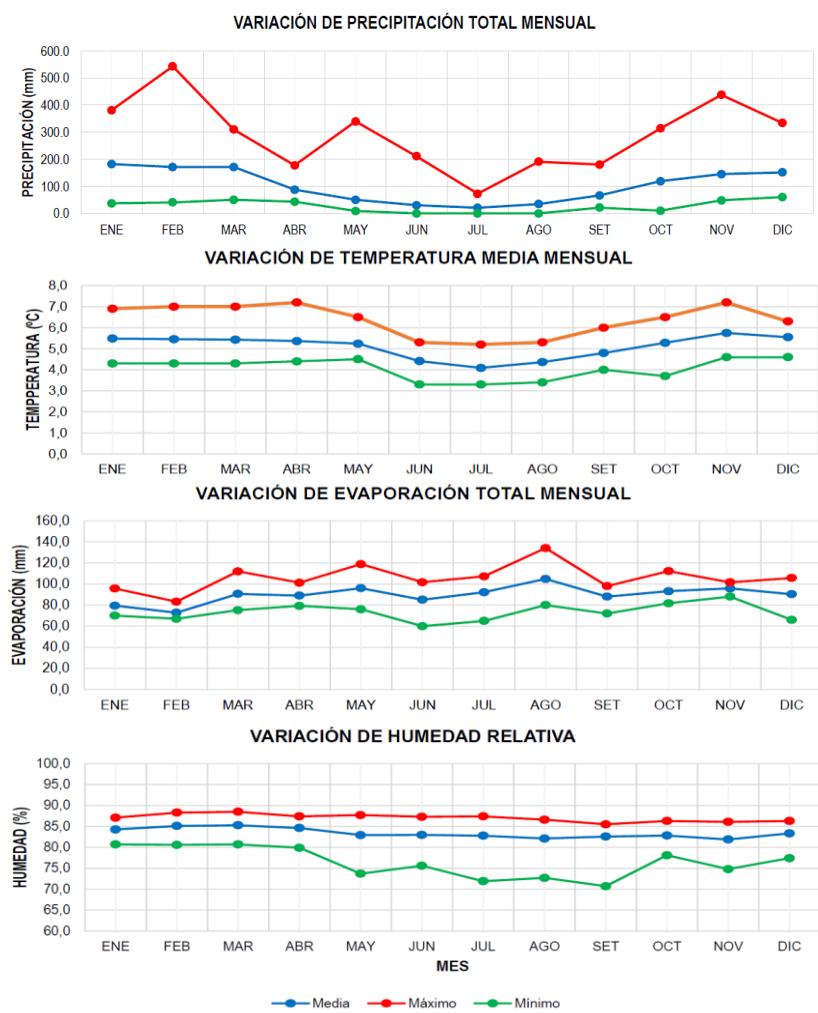


Figura N° 4.7. Variación de parámetros climáticos principales.

Fuente: Consorcio Yanamate (2023b)

Asimismo, el estudio hidrológico cuenta con el análisis de precipitaciones máximas para 24 horas, el análisis de frecuencias realizadas por Consorcio Yanamate determinó precipitaciones para períodos de retorno desde 2 años hasta 500 años, sin embargo, no se contaron con las estimaciones para períodos de retorno mayores a estos, de igual manera no se cuenta con una estimación de la precipitación máxima probable (PMP).

Según los criterios de diseño especificados en el **ítem 2.1.4** los criterios de diseño para inundaciones implican el análisis de precipitaciones máximas para períodos de retorno mayores a 500 años e incluso la determinación de la PMP (estos criterios dependen de la clasificación de la presa y las consideraciones de las guías internacionales). Es por ello que, es necesario realizar análisis y cálculos complementarios para determinar las precipitaciones máximas en 24h para diferentes períodos de retorno y la estimación de la precipitación máxima probable (PMP).

4.1.6.1 *Precipitaciones Máximas en 24 horas (Pmax24h)*

Para estimar las precipitaciones máximas en 24 horas (precipitaciones de diseño), se consideraron los registros disponibles de la estación Cerro de Pasco, a los cuales se les realizaron análisis exploratorios de datos con la finalidad de evaluar la confiabilidad de datos registrados.

Los registros de precipitaciones máximas se ajustaron a diferentes funciones de distribución (Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III, GEV I y Gumbel), estas funciones fueron verificadas para el nivel de significancia más óptimo mediante pruebas de bondad de ajuste, de lo cual se obtuvo que el mejor ajuste en la estación se da con la función de distribución Gumbel, una vez definida la función de mejor ajuste, se estimaron las precipitaciones máximas para los diferentes períodos de retorno que se muestran en la Tabla N° 4.4, estos resultados consideran un factor de 1.13 según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994), el cual representa un factor de corrección por tipo de medición. El detalle del análisis complementario se muestra en el **Anexo III.1**.

Tabla N° 4.4. Precipitaciones máximas en 24h para diferentes períodos de retorno (mm).

Período de Retorno	P máx. 24h ⁽¹⁾	P máx. 24h
10000	-	91
5000	-	86
2475	-	82
1000	-	76
500	69	71
200	65	65
100	60	60
50	56	56
10	45	45
2	31	32

Fuente: [1] Consorcio Yanamate (2023b)

4.1.6.2 Precipitación máxima probable (PMP)

La PMP se define como la mayor precipitación, de una duración definida, para la estimación de la precipitación máxima probable se ha hecho uso de procedimientos estadísticos presentados en el Manual para la Estimación de la Precipitación Máxima Probable (WMO, 1986) tal como el método de Hershfield.

Este procedimiento se basa en la expresión:

$$X_m = X_n + K_m S_n$$

Donde X_m es la PMP, X_n y S_n son los valores de la media y desviación ajustados, respectivamente, según la duración de la tormenta, longitud del registro y el tamaño de la cuenca de estudio; y K_m es una variable estadística que depende de la duración de la lluvia y el promedio de la serie anual de precipitaciones máximas. Con respecto al alcance y aplicación del método:

- Fue establecido para determinar las PMP para duraciones de 1h, 6h, 12h y 24h.
- El método recomienda 24 años de registros e indica que también puede ser utilizado cuando se dispone de 10 a 20 años de registros; pero no aplicable, bajo ninguna circunstancia, para una longitud de registro menor de 10 años. Al respecto, provee tablas de corrección por número de registros.

Considerando los criterios comentados anteriormente, se ha estimado el valor correspondiente de la PMP con data histórica de la estación Cerro de Pasco por ser representativa en la zona de estudio. El valor estimado para la PMP corresponde a 169 mm (Ver Tabla N° 4.5). El detalle de la estimación de la PMP se muestra en el **Anexo III.1**.

Tabla N° 4.5. Estimación de la Precipitación Máxima Probable PMP

Parámetro	PMP (mm) 24hr
PMP	169
Max. Registrado	46.7

4.1.6.3 Avenidas máximas

Considerando los estudios revisados, se realizó una reconstrucción del modelo hidrológico para determinar el análisis de máximas avenidas, empleando el software hidrológico HEC-HMS (desarrollado por el *Hydrologic Engineering Center – HEC*).

En la Figura N° 4.8 se muestra una vista general de las microcuencas de análisis en la zona de estudio, asimismo se presenta el modelo hidrológico reconstruido para la determinación de máximas avenidas para diferentes períodos de retorno.

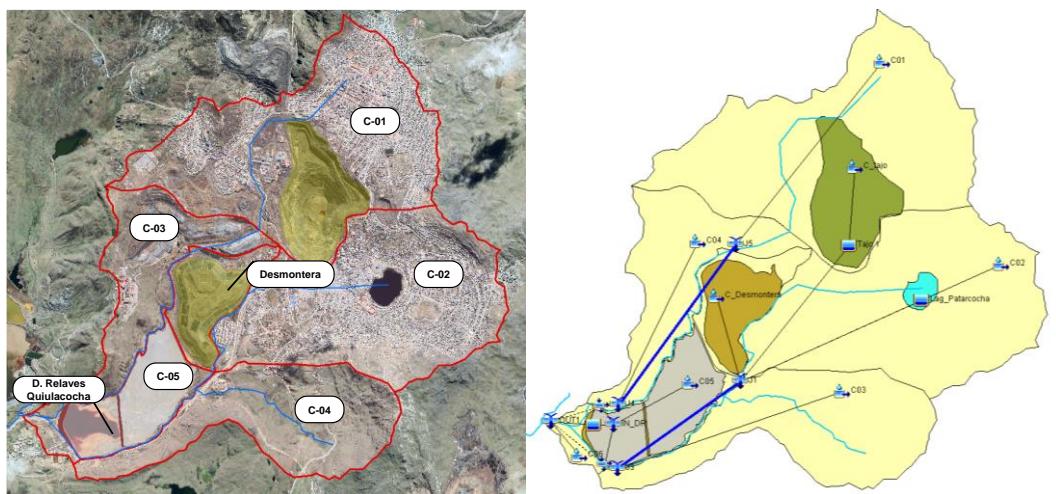


Figura N° 4.8. Vista general de microcuencas de análisis y modelo hidrológico
Según: a) Cuencas de aporte al depósito de relaves Quiulacocha; b) Modelo Hec-HMS
reconstruido para máximas avenidas.

Luego de reconstruir, implementar los elementos hidrológicos y asignar los métodos de cálculo (de abstracciones, transformación de escorrentía y tránsito en cauces) en el software HEC-HMS, se procede a la generación de caudales máximos instantáneos en las cuencas, para períodos de retorno de 100, 200, 500 y 1000 años, en la Tabla N° 4.6 se muestra el resumen de los caudales máximos producidos por las cuencas de interés y el flujo de ingreso hacia la zona del pond del depósito de relaves.

Tabla N° 4.6. Caudales máximos en la cuenca Quiulacocha (m³/s)

Microcuenca de Análisis	Área (km ²)	Periodo de Retorno (Años)				PMP
		100	200	500	1000	
C01	4.34	0.3	0.3	0.3	0.7	15.4
C02	4.75	0.2	0.3	0.3	0.7	14.7
C03	2.78	2.0	2.6	3.4	5.0	22.0
C04	1.98	1.2	1.6	2.1	3.1	13.5
C05 - C-Relavera	1.26	5.0	5.5	6.1	7.2	15.5
C06	0.23	0.4	0.5	0.6	0.9	4.2
C_Desmontera	0.98	4.8	5.2	5.8	6.8	14.6
C_Tajo	1.22	0.9	1.2	1.5	2.3	10.1
IN_DR	1.26	5.0	5.5	6.1	21.0	83.5
OUT1	17.54	8.2	9.5	11.1	8.4	83.8

Las infraestructuras hidráulicas construidas en el depósito de relaves, tales como canales de coronación, entre otros, consideran el diseño de estas infraestructuras para períodos de retorno de 500, sin embargo, al no conocer la clasificación de presas según los estándares internacionales no se tiene definido cuál es el IDF (inundación de diseño) con el cual deberían de construirse. Es por ello que también se realizó el análisis para períodos mayores a 500 años, con la finalidad de facilitar la evaluación de modos de fallas versus peligros donde interviene el peligro meteorológico. En el ítem 4.4 se detallará la aplicación de estos eventos extremos y afectación en los niveles de la laguna sobrenadante en el depósito de relaves Quiulacocha.

4.1.7 Hidrogeología

AMSA como parte de la elaboración del plan de cierre encargó a Geotechnical & Environmental Laboratory S.A (G&E), la elaboración del estudio Hidrogeológico. El modelo hidrogeológico conceptual del depósito de relaves Quiulacocha se halla limitado por el Norte con el Depósito de Desmontes Excélsior, y en sus laterales por los canales de conducción de agua pluvial y residual proveniente de la población de Cerro de Pasco, y por el Sur limita con el dique del depósito, donde se encuentra el sistema de subdrenaje del depósito de relave. El depósito se compone de relaves finos hacia la parte baja con textura ligeramente más gruesa hacia la parte alta al Norte, lo cual caracteriza la reología de los relaves y su conductividad hidráulica es función de la selección de sus granos por efecto de la deposición y segregación de los relaves.

Según el Modelo Hidrogeológico Conceptual (ver Figura N° 4.9), se observa que el flujo subterráneo se produce desde el Depósito de Desmontes Excélsior con dirección Noreste a Suroeste, siendo flujo permanente con descargas localizadas al pie de Excélsior, y en el dique flotante y poza de sub - drenaje, las que son incidentes durante la temporada húmeda.

El flujo de agua subterránea dentro del depósito de relave se produce de Noreste (NE) a Suroeste (SO), durante las temporadas de lluvias y en estiaje, los relaves se encuentran saturados con nivel freático alto (0.4 m) en partes casi a superficie, lo cual indica que el cuerpo del depósito de relaves se halla totalmente saturado. Existe recarga por aporte lateral desde los conglomerados y brechas calcáreas de la margen izquierda, visible solo durante la temporada húmeda, son pequeños flujos diseminados que forman goteras con humedad permanente a manera de áreas hidromórficas, por efecto de la carga hidráulica que ejerce desde las rocas de moderada permeabilidad.

El mayor drenaje de agua subterránea se produce desde las filtraciones del DDM Excélsior y una filtración menor desde Pampa Seca producto de la lixiviación del Stock Pile (agua de contacto), se infiltra al subsuelo y aporta hacia el depósito Quiulacocha, las que discurren de manera permanente. En el DR Quiulacocha, las descargas se producen con dirección hacia el canal central que recorre superficialmente el área, así como al pie del dique flotante, y finalmente en el

subdrenaje del dique principal, que drena las aguas subterráneas hacia una poza de acumulación, para su posterior recirculación.

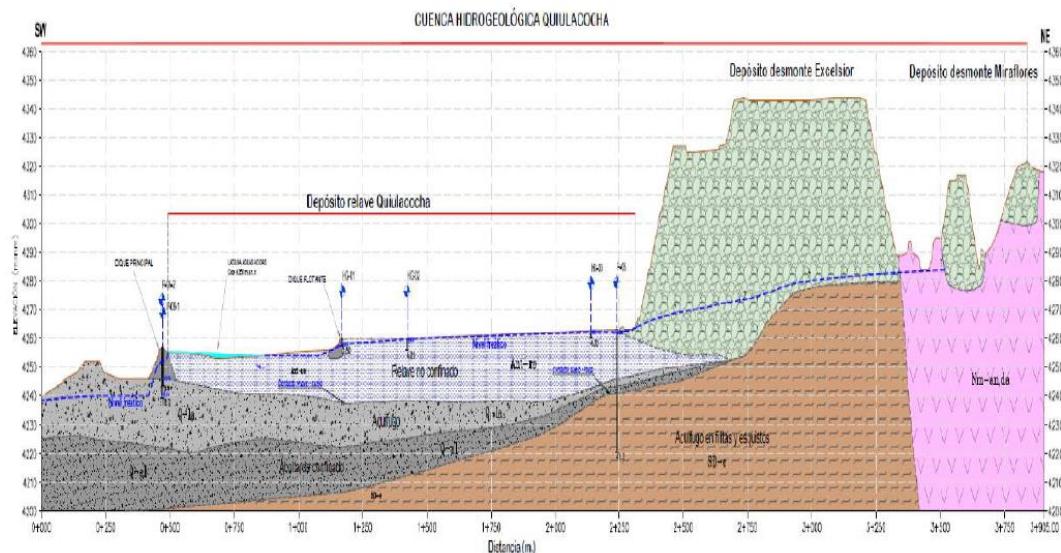


Figura N° 4.9 Vista general del modelo Hidrogeológico del depósito de Relaves Quiulacocha.

Fuente: G&E (2023a)

4.1.8 Geotecnia

AMSAC como parte de la elaboración del plan de cierre encargó a Engineers & Environmental Perú S.A. (E&E) el análisis geotécnico, para ello se realizaron calicatas, trincheras, ensayos de penetración dinámica ligera DPL, ensayos SPT, líneas de refracción sísmica, MASW y perforaciones geotécnicas para determinar los parámetros geotécnicos físicos y de resistencia para la evaluación de la estabilidad de taludes de la relavera Quiulacocha.

El conjunto de las investigaciones geotécnicas indicadas anteriormente, permitió conocer la estructura de conformación del dique principal, así como la estimación de la altura del relave depositado a lo largo de la relavera.

Del análisis de las investigaciones geotécnicas se determinó que, el dique principal está constituido por un cuerpo homogéneo conformado por capas de grava arcillosa (GC), grava limosa (GM) y arena limosa (SM), de unos 14 metros de altura, el cual se encuentra parcialmente cimentado en grava arcillosa y arcilla de baja plasticidad. Posteriormente, en una etapa de recrecimiento del dique, se ha colocado un material conformado por arena lima (SM) en el talud aguas abajo del dique inicial, finalmente se terminó de conformar el dique principal con material de grava arcillosa (GC), el cual se colocó considerando un talud de 2.5H:1V, con

banquetas de 6 metros de altura y 1 berma de 9 metros, la altura del dique principal medido desde la cimentación hasta la corona es de 22.5 m. El dique flotante también se encuentra conformado por material de grava arcillosa (GC) y tiene una altura entre 5 y 6 metros.

El dique principal se encuentra cimentado en un material gravoso – arenoso con intercalaciones de lentes de arena y arcilla, por otro lado, el dique flotante se encuentra emplazado sobre material de relaves, este material de relaves ha sido caracterizado en función de lo observado en las calicatas y perforaciones correspondiente de manera general a un limo de baja plasticidad.

En la Figura N° 4.10 se muestra el perfil del dique principal donde se distinguen los principales materiales presentes en el cuerpo del dique y su respectiva cimentación. Asimismo, en la Figura N° 4.11 se detalla una sección del dique flotante.

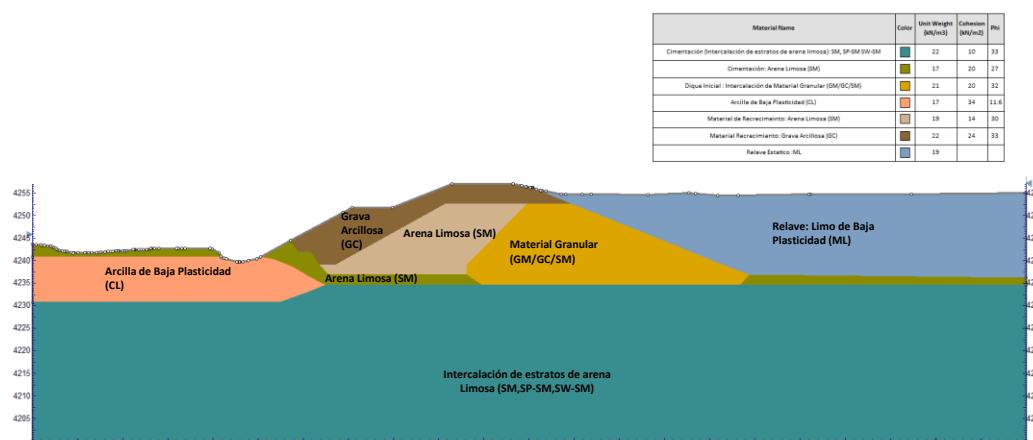


Figura N° 4.10. Caracterización de material del dique principal - sección de análisis

Fuente: E&E (2023b)

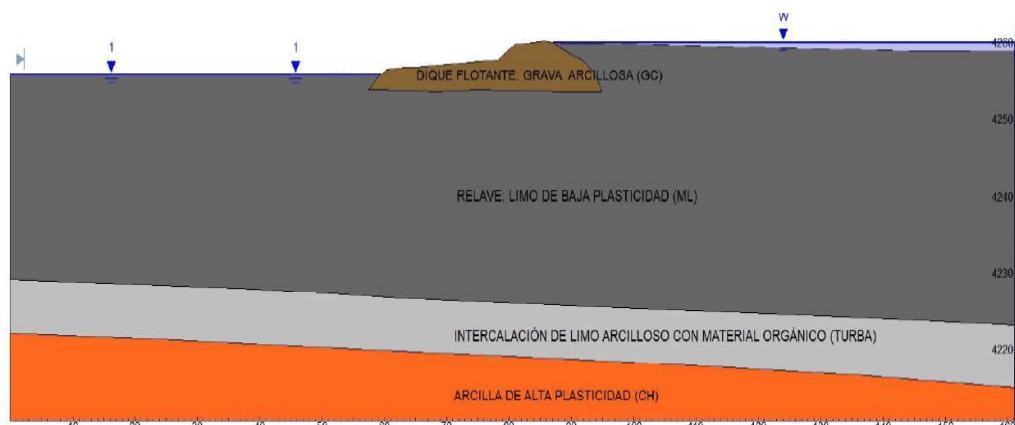


Figura N° 4.11. Caracterización de material del dique flotante - sección de análisis

Fuente: E&E (2023b)

En la Tabla N° 4.7 se muestra los parámetros de resistencia de los materiales que componen el dique principal, el dique flotante y la cimentación de estos.

Tabla N° 4.7. Resumen de parámetros de resistencia de los materiales

Material	Peso Específico (KN/m ³)	Cohesión (Kpa)	Angulo de Fricción(°)
Relaves (ML)	19	10	20
Dique Inicial (Grava limosa- arcillosa, arena limosa): GC, GM, SM.	21	20	32
Material de Recrecimiento del dique (arena limosa):SM	19	14	30
Material de recrecimiento final del dique (Grava arcillosa): GC	22	24	33
Cimentación (Arcilla de baja plasticidad): CL	17	34	11.6
Cimentación (Arena Limosa): SM	17	20	27
Cimentación (Intercalación de estratos de arena limosa) : SM, SP-SM y SW-SM	22	10	33
Cimentación (Macizo Rocoso)	25	100	30
Dique Flotante (Grava arcillosa): GC	22	0	33
Arcilla de alta plasticidad (CH)	17	34	14
Intercalación de limo arcilloso con material orgánico (Turba)	17	34	24

Fuente: E&E (2023b)

4.1.8.1 Análisis de Estabilidad

Teniendo en consideración los parámetros de resistencia y la distribución del material que componen el dique principal y la cimentación, AMSAC solicitó la evaluación del análisis de estabilidad considerando un análisis estático y pseudo-estático, para ello Engineers & Environmental Perú S.A. (E&E) realizó la evaluación de la línea que define el nivel freático, la cual fue obtenida en función de los valores de permeabilidad obtenidos en los ensayos in- situ que se realizaron en las perforaciones hidrogeológicas, así como también la información disponible de los piezómetros ubicados en el dique principal, según dicha evaluación concluyó que la disposición del nivel de agua en el interior del dique no afecta significativamente la estabilidad del mismo.

Para el análisis de estabilidad E&E consideró 2 secciones de análisis para el dique principal y una sección crítica para el dique flotante, la vista en planta de estas secciones se muestra en la Figura N° 4.12 , también consideró 2 niveles de aguas

distintos, un nivel para la época húmeda (4256.5 msnm) y un nivel para la época seca (4255 msnm).

La evaluación del análisis de estabilidad determinó factores de seguridad, para el dique principal y dique flotante, en condiciones estáticas y pseudo-estáticas mayores a los mínimos permisibles. Los factores de seguridad mínimos obtenidos se muestran resumidos en la Tabla N° 4.8.

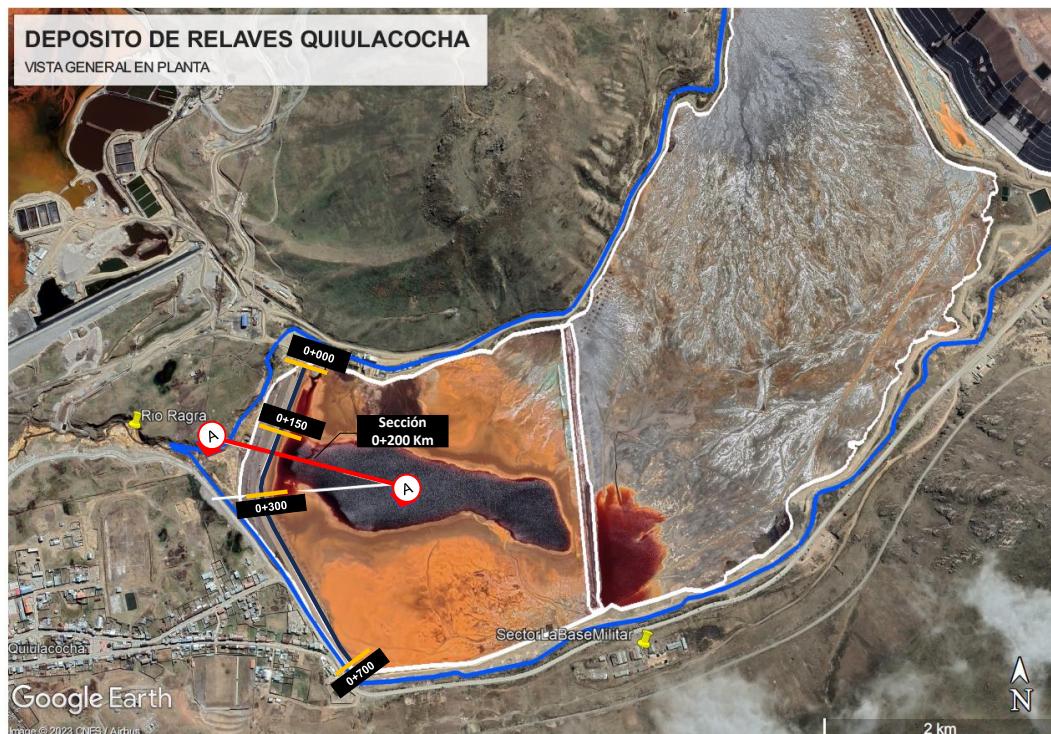


Figura N° 4.12. Vista en planta de las secciones analizadas para el análisis de estabilidad

Tabla N° 4.8. Resultados del Análisis de Estabilidad

Componente	Sección	Análisis	Factor Seguridad Nivel de Pond (4255.8 msnm)	Factor Seguridad Nivel de Pond (4256.5 msnm)	FS mínimos permisibles CDA / NTE - 050
Dique Principal	0+150	Estático	2.06	1.98	1.5
		Pseudo-estático	1.3	1.25	1
	0+300	Estático	2.89	2.98	1.5
		Pseudo-estático	1.82	1.87	1
Dique Flotante	Central	Estático	2.14	2.14	1.5
		Pseudo-estático	1.06	1	1

Fuente: E&E (2023b)

El análisis de estabilidad del depósito de relaves Quiulacocha realizado por E&E no consideró la sección donde se cuenta con mayor relleno de material de dique, esta sección le corresponde a la progresiva 0+200 (ver Figura N° 4.12), esta sección pasa por la zona donde se encuentra la poza de filtraciones (poza donde se monitorean los flujos de filtración) del depósito de relaves, por ello se vio la necesidad de realizar un análisis complementario de estabilidad considerando dicha sección.

Como parte de la aplicación de la metodología planteada se debe considerar la revisión de toda la información disponible, tal como se mencionó en otras secciones, en algunos casos será necesario realizar algunos cálculos para complementar la información disponible,

El análisis complementario de estabilidad realizado en el depósito de relaves Quiulacocha consideró la sección 0+200 km, la cual obtuvo factores de seguridad menores a los que se obtuvieron en los anteriores análisis (secciones de análisis 0+150 km y 0+300 km), con lo cual se concluyó que la sección 0+200 km corresponde a la sección crítica de análisis.

Para el análisis complementario de estabilidad se evaluaron las condiciones estáticas, pseudo- estáticas y post- sísmicas, en el análisis pseudo- estático se consideraron aceleraciones máximas asociada a periodos de retorno de 500 años, 1000 años y el MCE (se consideraron estos 3 análisis sísmicos, con la finalidad de complementar la información para el análisis de modos de fallas y peligros en el ítem 4.4), las aceleraciones máximas que corresponden a estos periodos de retorno se detallan en la información relacionada al estudio de peligro sísmico. Los coeficientes sísmicos utilizados corresponden a $\frac{1}{2}$ de las aceleraciones máximas (según recomendación dadas por el MINEM -1997 y Hynes & Griffin – 1984).

En la Tabla N° 4.9 se muestran los factores mínimos obtenidos del análisis complementario de estabilidad y los resultados gráficos complementarios considerando la sección crítica de análisis de estabilidad de taludes se detalla en el **Anexo III.2.**

Tabla N° 4.9. Resultados del Análisis de Estabilidad Complementario en el dique Principal

Sección	Análisis	Factor Seguridad Nivel de Pond (4256.3 msnm)	FoS mínimos permisibles CDA / NTE - 050
0+200	Estático	1.93	1.5
	Pseudo- estático TR 500 Años (Kh=0.19g)	1.17	1
	Pseudo- estático TR 1000 Años (Kh=0.25g)	1.03	1
	Pseudo- estático MCE (Kh=0.38g)	0.805	1
	Post- sísmico	1.5	1.1

Actualmente el depósito de relaves Quiulacocha considera un sismo de diseño correspondiente a 500 años, esto se debe a que el depósito de estudio no se encuentra adecuado a los lineamientos de alguna guía internacional; es por ello que no se cuenta con una clasificación de presa. Las guías internacionales consideran criterios de diseño superiores a 500 años de periodo de retorno, es por ello que se realizó la evaluación complementaria considerando sismos de 1000 años de periodo de retorno y el MCE (Sismo Máximo Creíble), donde se obtuvieron factores de seguridad de 1.05 y 0.805 para el análisis pseudo- estático, lo cual indica una estabilidad geotécnica precaria.

De estos resultados se puede deducir que en las condiciones actuales el dique se encuentra en riesgo de falla ante las condiciones sísmicas, este análisis facilitará la definición de la credibilidad de fallas respecto a un peligro sísmico, en el **ítem 4.4.**

4.1.9 Geoquímica

AMSA como parte de la elaboración del plan de cierre encargó a Geotechnical & Environmental Laboratory S.A (G&E), la caracterización geoquímica en el Depósito de Relaves Quiulacocha, para lo cual se extrajeron 40 muestras, el estudio incluyó la conformación geológica del lugar y los cursos de agua y materiales susceptibles a alguna interacción geoquímica por DAR (Drenaje ácido de Roca).

Para la caracterización geoquímica se realizaron ensayos estáticos de tipo Balance Acido – Base (BAB), en inglés denominado *Acid Base Account* (ABA), con la finalidad de determinar el potencial de generación de acidez (PGA).

Se llevó a cabo la evaluación de resultados ABA-DAR, donde las primeras 37 muestras de un total de 40 muestras según el primer (1º) criterio (PNN), indica que la mayoría de las muestras (33) son clasificadas como generadoras de acidez, exceptuando 3 muestras que se clasificaron como inciertas y 1 muestra clasificada como no generadora de acidez (Ver Figura N° 4.13, donde se muestra la relación entre el potencial neto de neutralización con el PG pasta de las muestras analizadas).

La evaluación del segundo criterio (2º NPR), conocido también como el criterio de Price (1997), también clasifica a la mayoría de muestras (35) como generadoras de acidez. En tanto el resto de las muestras evaluadas (02) son clasificadas como no generadoras de acidez (Ver Figura N° 4.14).

En cuanto al 3º Criterio, cuyo principal fundamento es el contenido de azufre como sulfuro (%S), se aprecia que los resultados obtenidos son similares a los resultados de los criterios anteriormente mencionados (1º Criterio y 2º Criterio), es decir 34 muestras se clasifican como generadoras de acidez. Mientras que el resto de las muestras analizadas (03) son clasificadas como no generadoras.

El estudio realizado demostraría después del análisis e interpretación de los resultados de los ensayos geoquímicos, que el depósito de relaves Quiulacocha (DRQ) continúa su estado de potencial generador de acidez (PGA), debido principalmente a la caracterización química de los relaves, incluyendo la alta concentración de sulfuros (muestras con pirita hasta 32.53%), con una ligera tendencia de mayores concentraciones en profundidad.

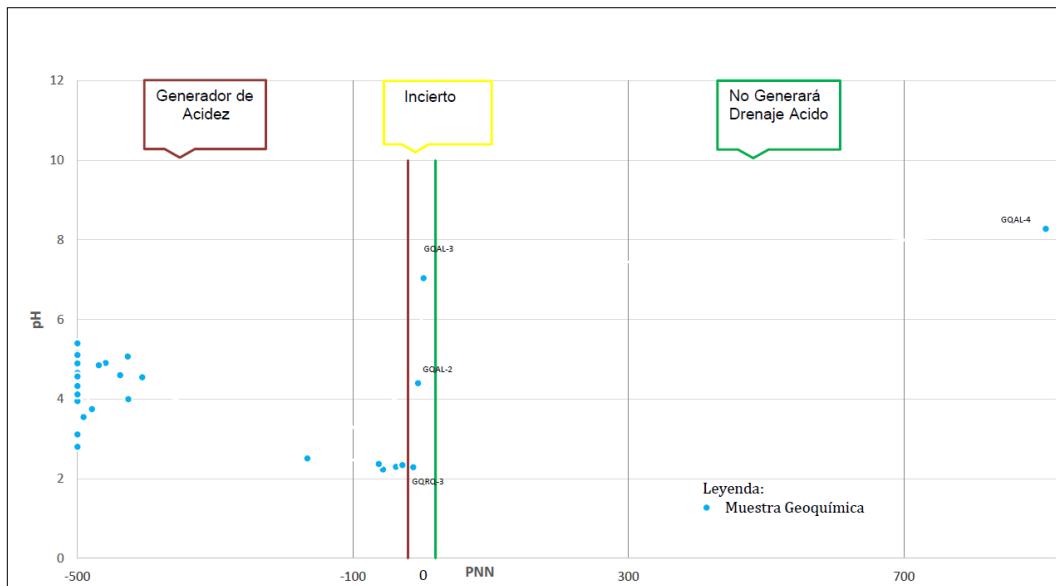


Figura N° 4.13. Relación del Potencial Neto de Neutralización (PNN) vs PH

Fuente: Geotechnical & Environmental Laboratory S.A. (G&E, 2023b)

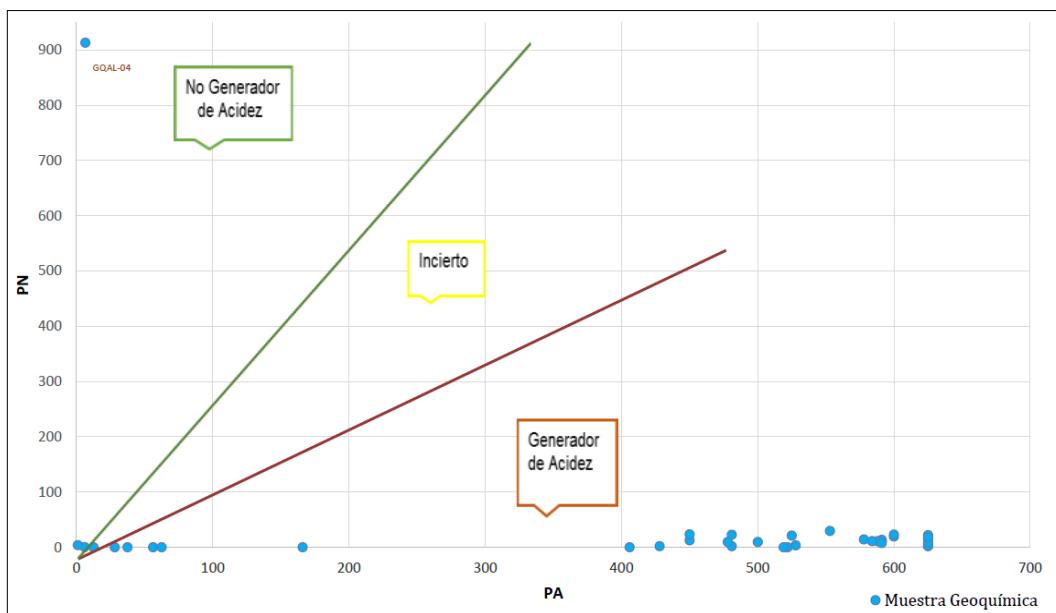


Figura N° 4.14. Relación del Potencial de Neutralización (NP) vs Potencial de Acidez (AP)

Fuente: Geotechnical & Environmental Laboratory S.A. (G&E, 2023b)

Por otro lado, también se cuenta con información hidro química respecto a la laguna sobrenadante (*pond*) de la relavera Quiulacocha. Para ello se ha considerado los resultados de calidad de aguas en época húmeda y época seca.

En la Tabla N° 4.10 se muestra el resumen de los principales parámetros comparados con los límites máximos permisibles aprobados en el D.S N° 010-2010-MINAM (LMP), donde se evidencia que:

- Tanto en época húmeda como en época seca el PH se encuentra entre 2.5 y 2.6, confirmando la producción de acidez en el flujo existente en el pond.
- Entre los parámetros principales, también se observa la presencia de sulfatos con concentraciones altas, en el orden de los 20000 mg/L.
- Asimismo, se evidencia concentraciones elevadas en la mayoría de concentraciones, entre los cuales se tienen al arsénico, cadmio, plomo, hierro, entre otros.

Tabla N° 4.10. Comparación de resultados de mediciones de parámetros químicos en contraste con los LMP

Laguna Sobrenadante Quiulacocha			
	Promedio - Época Húmeda	Promedio - Época Seca	LMP**
A_PH	2.60	2.50	6 - 9
As (t)	2.98	8.18	0.1
AyG	-	-	20
Cd (t)	1.800	2.5000	0.05
CN (t)	-	-	1
Cr VI	0.030	0.010	0.1
Cu (t)	19.00	34.00	0.5
Fe (d)	1940.00	4560.00	2
Hg (t)	-	-	0.002
Pb (t)	0.300	0.300	0.20
SST	-	-	50
Zn (t)	545.00	1200.00	2
Mn (t)	491.00	1290.000	0.2 *
SO4	22854.00	26000.00	1000 *

(*) Parámetros correspondientes a Estándares de Calidad Ambiental para Agua, D.S. N° 004-2017-MINAM.

(**) Límites Máximos Permisibles, D.S. N° 010-2010-MINAM.

Fuente: EgoAguirre & Smuda (2013)

4.2. MAPEO DE PELIGROS

Como parte de la metodología planteada es importante mapear o identificar los peligros que puedan generar mecanismos de fallas potenciales (modos de falla) en el depósito de relaves de análisis.

El proceso de identificación de peligros se realizó considerando el entorno físico, el diseño de los componentes e infraestructuras de la presa, estos han sido agrupados de acuerdo a las recomendaciones de la guía de seguridad de presas (CDA, 2016a) en peligros externos e internos. Estos peligros se detallan en la Tabla N° 4.11 y Tabla N° 4.12.

En la Figura N° 4.15 se muestra una vista general en planta donde se muestran los peligros existentes que pueden desencadenar posibles mecanismos de falla, estos deberán de ser evaluados en el **ítem 4.4**.

Tabla N° 4.11. Identificación de peligros externos en el Depósito de Relaves Quiulacocha

Descripción	Peligros Externos Identificados
Peligros Meteorológicos	Inundaciones - Avenidas
Peligros Sísmicos	Evento natural
Peligros en el entorno del Depósito de Relaves	Depósito de Desmontes Excélsior
	Botaderos de Desmontes / Stockpiles zona Alta
	Laguna Patarcocha
	Tuberías de Lodos y Relaves Existentes de Operaciones aledañas al Depósito de Relaves.

Tabla N° 4.12. Identificación de peligros internos en el Depósito de Relaves Quiulacocha

Descripción	Peligros Internos Identificados
Barrera de Relaves o Dique de Contención	Dique Principal y Dique Flotante
Estructuras Hidráulicas	Canales de Coronación
	Obras de Drenaje de Cierre
Mecánicos y/o Eléctricos	Sistema de Bombeo y Tratamiento
Infraestructuras y Planes	Deficiencias en el Manual de Operación y/o planes de operación inadecuadas

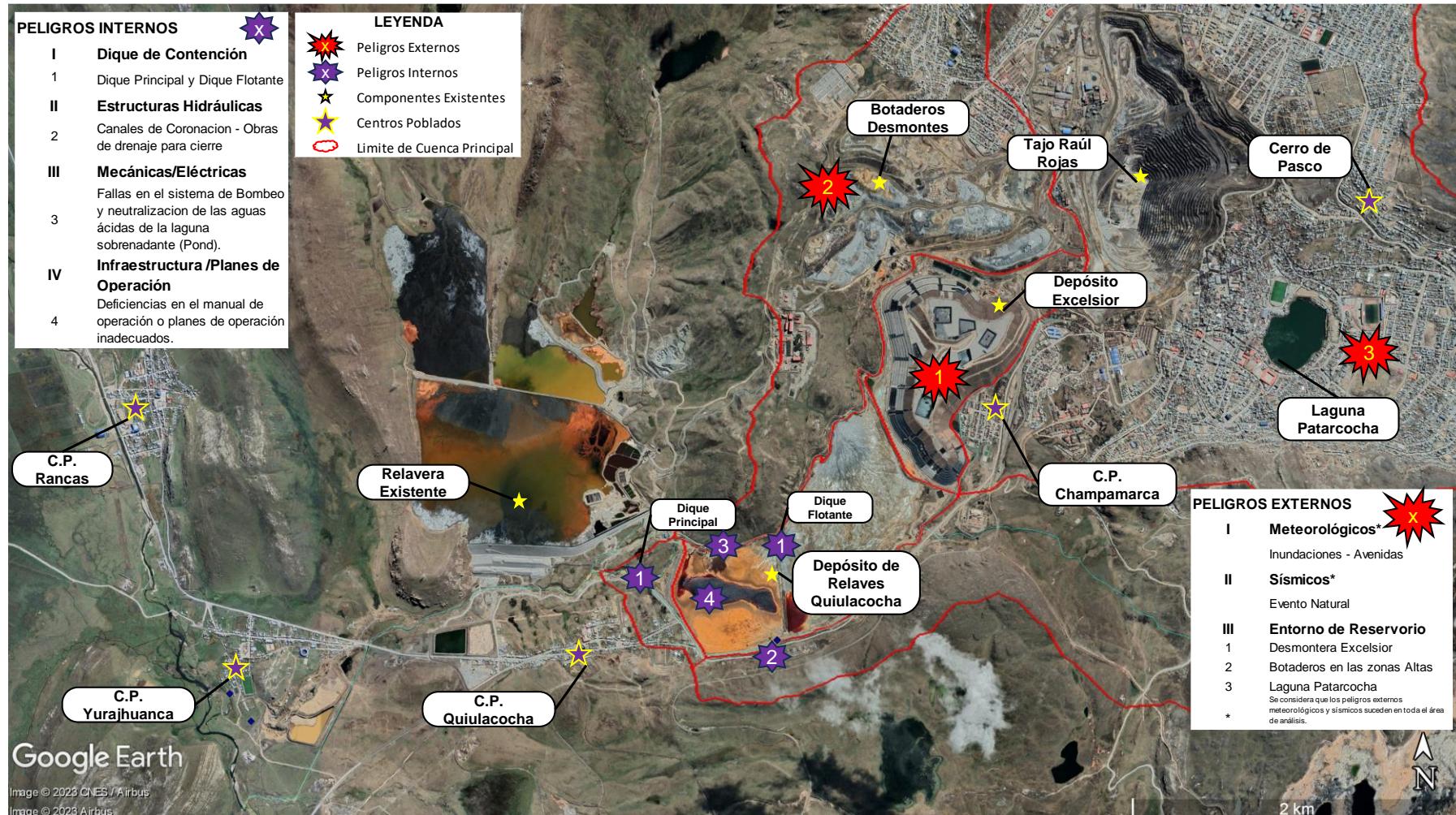


Figura N° 4.15. Identificación y mapeo de Peligros en el Depósito de Relaves de Estudio

A continuación, en la Figura N° 4.16 y Figura N° 4.17 se muestran detalles (Vistas fotográficas) de los peligros externos e internos, los cuales han sido descritos anteriormente.



Figura N° 4.16. Vista general de peligros externos identificados

Fuente: Imágenes tomadas desde la página web AMSAC (a, b y d); c) Google Maps-Fotos



Figura N° 4.17. Vista general de peligros internos identificados

Fuente: Imágenes tomadas desde la página web AMSAC – Reportes de estados situacionales de PAM's.

4.3. MODOS DE FALLA

Tal como se comentó en el ítem 3.3, se tiene conocimiento que, un modo de falla describe cómo ocurre la falla de un componente (dique de contención de relaves) y causa una pérdida de funcionamiento del sistema.

Los modos de falla que han sido considerados para el análisis del depósito de relaves Quiulacocha, corresponden a los modos de falla globales (colapso por sobrepaso y pérdida de resistencia) los cuales constan de 14 posibles mecanismos de falla, estos se detallan en la Figura N° 4.18, estos mecanismos de fallas han sido evaluados independientemente con cada peligro identificado en el ítem 4.3, la asociación de los peligros con estos mecanismos de falla serán descritos en el ítem 4.4.

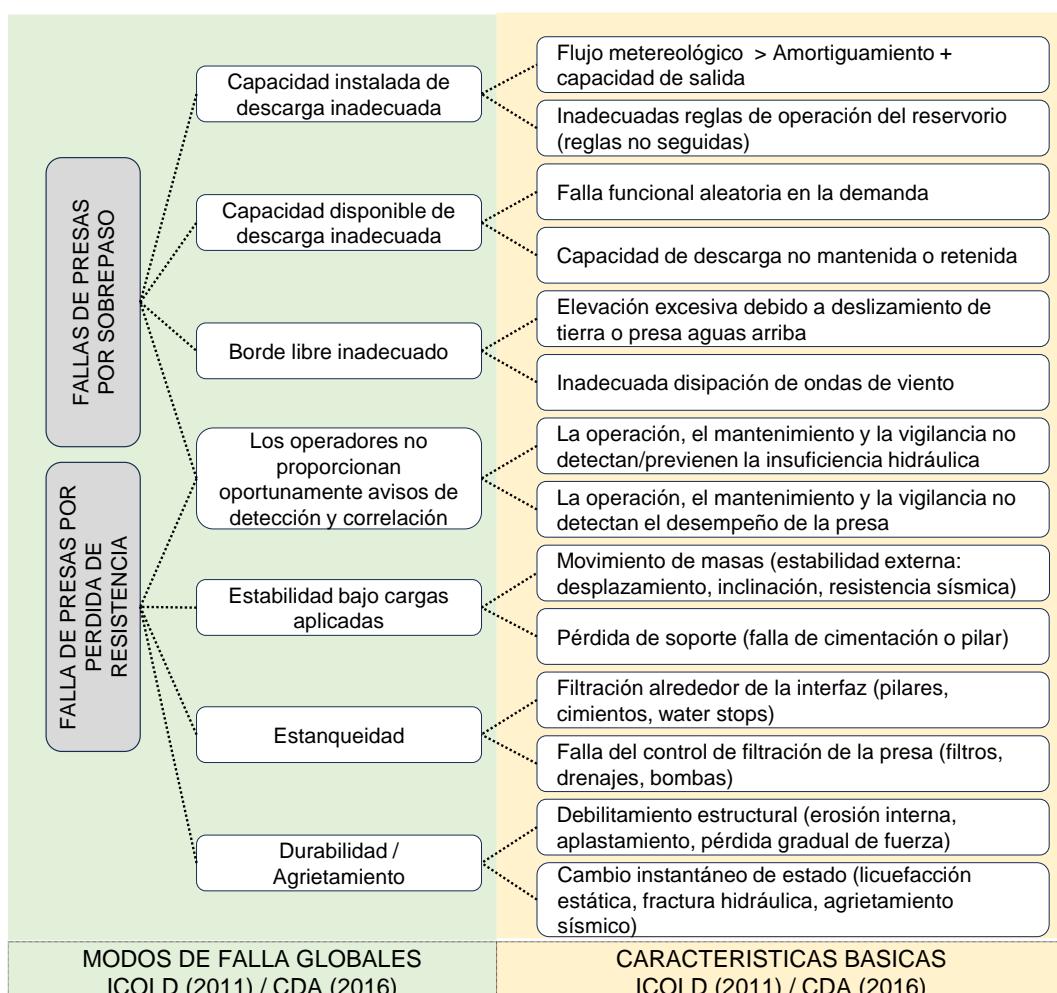


Figura N° 4.18. Modos de Fallas Globales y principales características consideradas para el análisis en el Depósito de Relaves Quiulacocha

Fuente: CDA (2016a)

4.4. MODOS DE FALLA CREÍBLES VS PELIGROS

Una vez identificado los peligros y modos de falla, se ha completado la matriz presentada en el **ítem 3.4**. Dicha matriz (Tabla N° 4.13) plantea preguntas para cada modo de falla asociada a cada peligro, lo cual ha sido respondida considerando el análisis en el depósito de relaves Quiulacocha, el detalle de estas respuestas se muestra en el **Anexo IV**. A continuación, se muestra el análisis de algunos de los principales peligros que desencadenan y no desencadenan mecanismos para la falla de la presa:

Caso A1:

Pregunta: ¿Podría un evento meteorológico hacer que el flujo de entrada sea mayor que la capacidad de flujo de salida y provocar un desbordamiento / falla de la presa debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?

Respuesta: Sí. Actualmente el depósito de relaves no cuenta con un vertedero de descarga, además cuenta con un volumen de retención total hasta la cota de corona de 0.53 Mm^3 ; sin embargo, cuando llegue una avenida máxima probable (1.1 Mm^3) o un evento meteorológico para un periodo de retorno de 1000 años, esta capacidad de retención será insuficiente por lo que sobrepasará el nivel de la corona del dique, provocando su falla por sobrepaso (*overtopping*).

Para llegar a la conclusión que se trata de un mecanismo de falla creíble, se realizó un análisis de máximas avenidas en el depósito de relaves Quiulacocha, para esto se consideró la información recopilada en el **ítem 4.1.6**, donde se detalla las características de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, además de la estimación de la PMP. En la Figura N° 4.19 se muestra el comportamiento del depósito de relaves considerando un evento de 500 años de retorno, donde se observa que al contar con canales de coronación para derivar este tipo de eventos no tendría problemas en el nivel del *pond* de agua (ver Figura N° 4.19 a). Sin embargo, si ocurre un evento máximo probable u otro evento mayor al de 500 años, el depósito de relaves no tendría la capacidad suficiente para contener el flujo y el nivel se elevará hasta por encima de la cota de la corona del dique, lo que generaría el colapso de la presa por *overtopping* (ver Figura N° 4.19 b y Figura N° 4.19 c). El resumen de niveles alcanzados en el depósito de relaves Quiulacocha se detalla en la Figura N° 4.19 d.

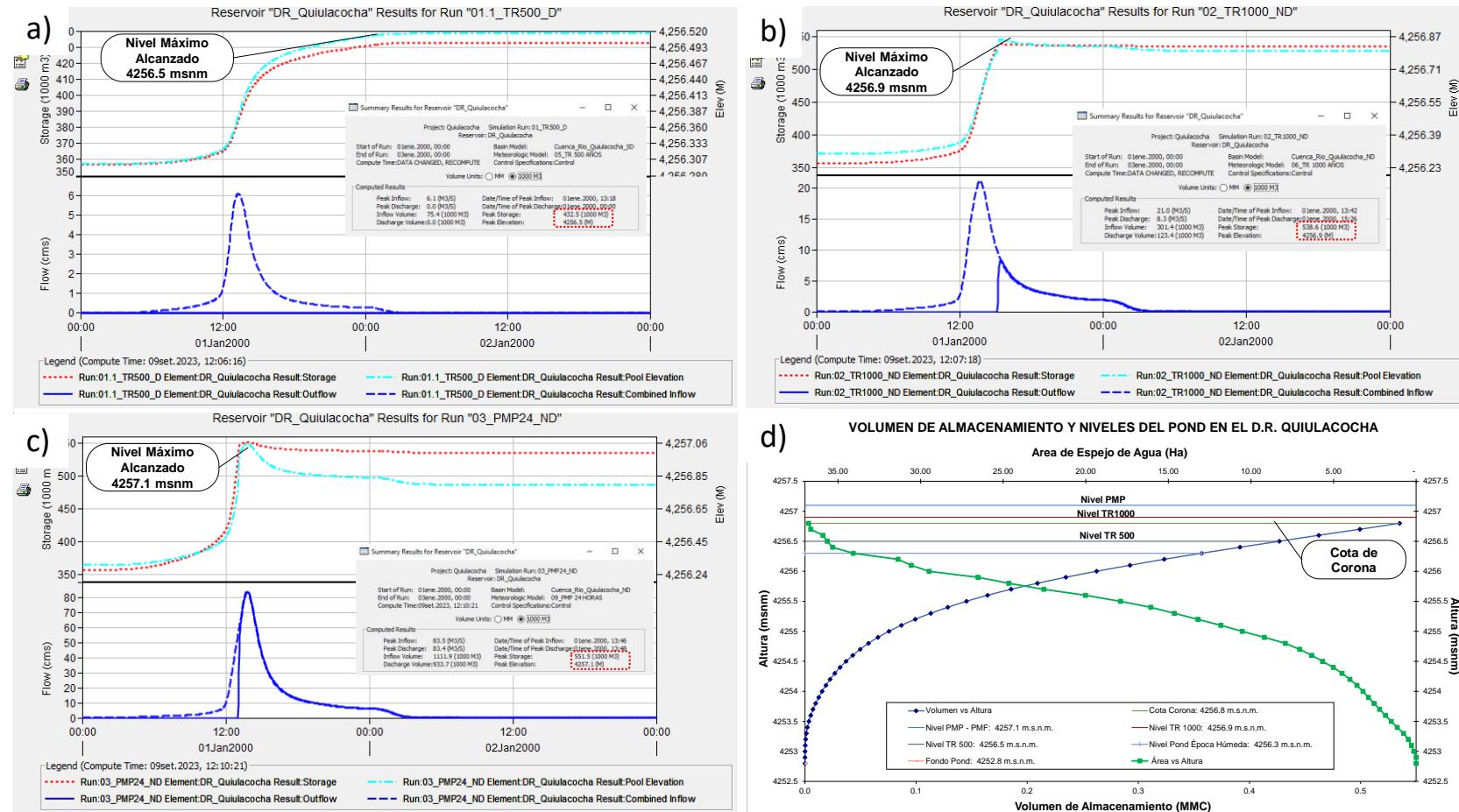


Figura N° 4.19. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro meteorológico - caso A1.

Según: a) Nivel alcanzado para TR 500 años b) Nivel alcanzado para TR 1000 años; c) Nivel alcanzado en una crecida máxima probable (CMP); d) Resumen de niveles alcanzados para diferentes condiciones hidrológicas

Caso A2:

Pregunta: ¿La presa podría ser sobre pasada / fallar durante un evento meteorológico si no se siguen las reglas de operación?

Respuesta: Si. Actualmente no se cuenta con un vertedero de emergencias, sin embargo, cuentan con un sistema de bombeo que tiene la capacidad de evacuación de 10 200 m³/día, esta capacidad al tener un borde libre de 1 m sería insuficiente para mantener el nivel por debajo de la cota de la corona cuando se produzcan avenidas superiores a un periodo de retorno de 500 años. Una inadecuada operación podría complicar la situación y desencadenaría una falla por *overtopping*.

Para llegar a la conclusión que se trata de un mecanismo de falla creíble, se evaluó el balance de aguas en el depósito de relaves Quiulacocha, considerando los ingresos y salidas que afectan el nivel de agua en el depósito. Del análisis se verificó que cuando existan condiciones normales (precipitaciones promedias – flujos de ingresos promedios) y operatividad adecuada del sistema de bombeo existente, el cual cuenta con una capacidad de 10 200 m³/d (425 m³/h), existiría una variación mínima del nivel (ver Figura N° 4.20a). Sin embargo, al presentarse un evento meteorológico correspondiente a periodos de retorno mayores a 500 años, sumados a una inadecuada operación (falla del sistema de bombeo o evacuación), se produciría el incremento de nivel hasta sobre pasar la cota de la corona (ver Figura N° 4.20b para periodos de retorno de 500 años y ver Figura N° 4.20c para periodo de retorno de 1000 años).

En la Figura N° 4.20d se muestra el nivel alcanzado por los eventos analizados en la curva altura volumen del depósito de relaves Quiulacocha.

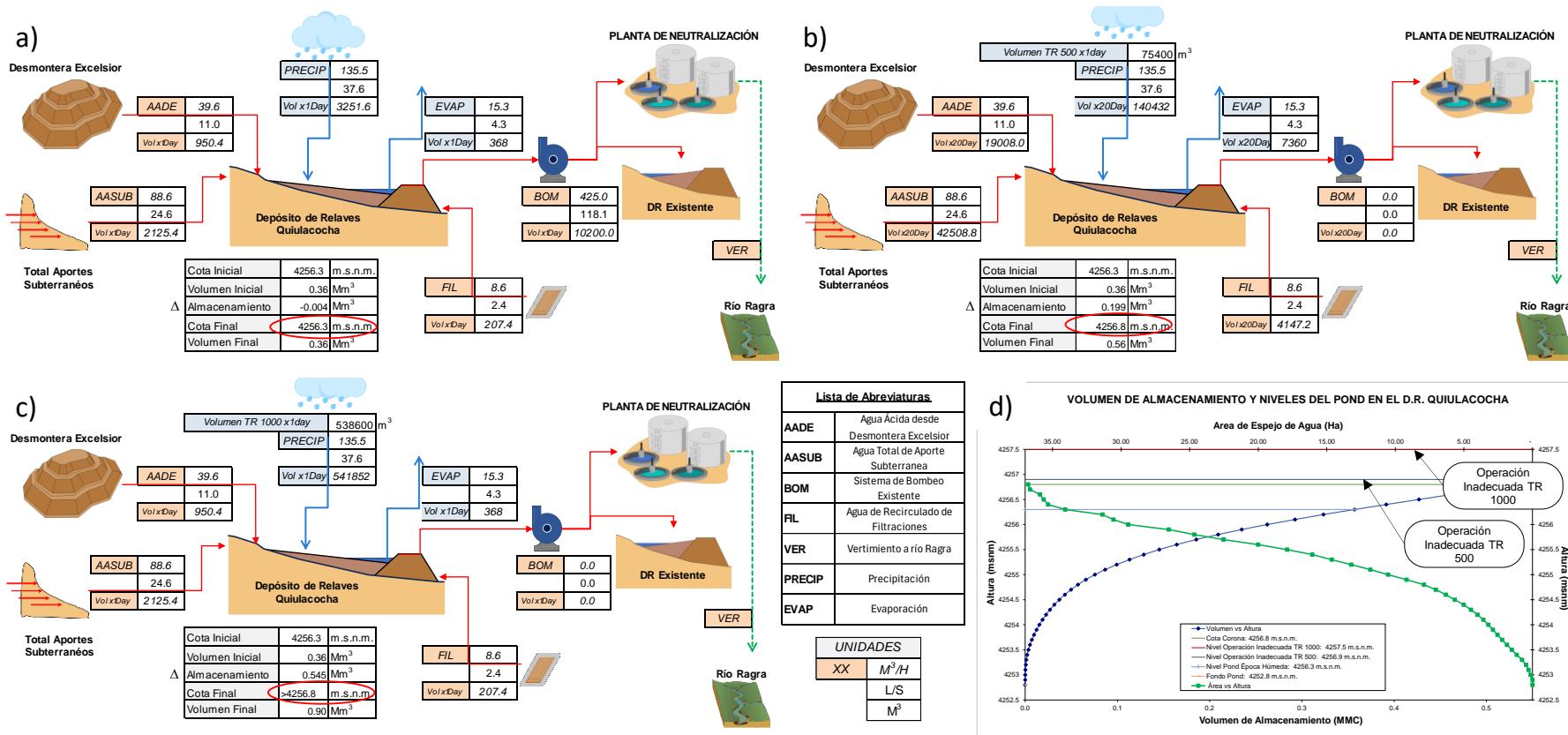


Figura N° 4.20. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro meteorológico - caso A2.

Según: a) Balance de aguas para condiciones hidrológicas normales y operatividad adecuada; b) Balance de aguas durante un evento meteorológico de periodo de retorno de 500 años e inadecuada operación; c) Balance de aguas durante un evento meteorológico de periodo de retorno de 1000 años e inadecuada operación ;d) Niveles alcanzados en el análisis.

Caso B13

Pregunta: ¿Podría un evento sísmico causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y causar el colapso de la presa?

Respuesta: Sí. La presa ha sido diseñada considerando un sismo de periodo de retorno de 500 años, por lo que, al ocurrir un evento sísmico mayor al periodo de diseño (1000 años o MCE), se produciría una pérdida de resistencia causando el colapso del dique principal al contar con FoS por debajo de lo recomendado.

Para llegar a la conclusión que se trata de un mecanismo de falla creíble, se evaluó el análisis de estabilidad pseudo – estático para un sismo de periodo de retorno de 1000 años y para el MCE (ver Figura N° 4.21) , donde se obtuvieron factores de seguridad menores a los recomendados por los estándares internacionales.

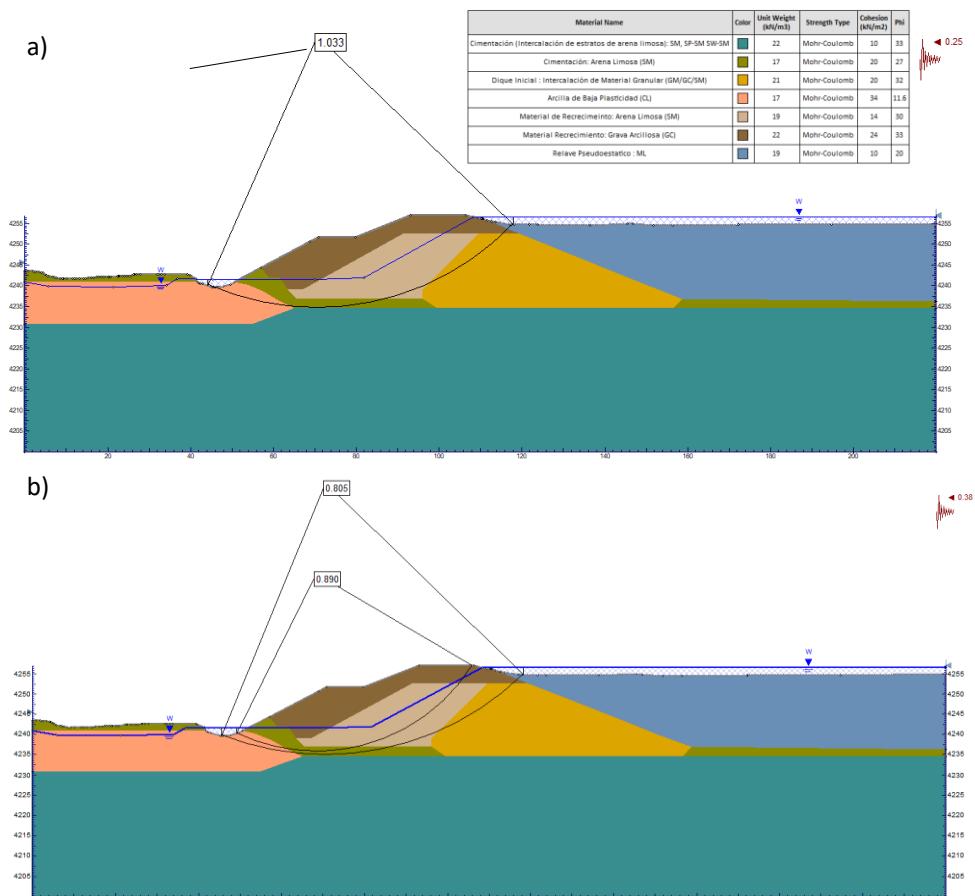


Figura N° 4.21. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro sísmico - caso B13
Según: a) Análisis de estabilidad pseudo-estática para períodos de retorno de 1000 años; b)
Análisis de estabilidad pseudo – estática para el MCE.

Caso C1 - C14:

Pregunta: ¿Podría el entorno del depósito provocar que la presa sea sobrepasada o falle por pérdida de resistencia?

Respuesta: No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar de contar con peligros externos como el desembalse de la laguna Patarcocha, las fallas de los desmontes en la zona alta y la falla del depósito de desmontes Excélsior, estos peligros no implicarían la falla del depósito de relaves, por lo que se concluye que no existe mecanismo de falla creíble relacionado a los peligros del entorno del depósito.

Para llegar a la conclusión de que estos mecanismos de falla son “no creíbles”, se realizaron evaluaciones a los peligros identificados, entre ellas, el desembalse de la laguna Patarcocha la cual se encuentra ubicado en la ciudad de cerro de Pasco, esta laguna colecta todo el drenaje pluvial del centro poblado Chaupimarca (ver Figura N° 4.22), anteriormente en épocas húmedas se generaba el incremento del nivel de esta laguna, conllevando así la inundación de viviendas que se encontraban alrededor de laguna Patarcocha, eso por ello que en el año 2022 se realizó la construcción de un túnel derivador, el cual cumplía la función de un aliviadero de emergencias. La configuración topográfica en la zona de laguna Patarcocha (ubicado en la parte central del C.P. Chaupimarca) hace que esta laguna no represente un riesgo de desembalse, en casos críticos se generaría la evacuación del flujo por el túnel derivador, sin embargo, este flujo fácilmente podrá ser derivado por los canales de coronación del depósito de relaves Quiulacocha existentes (evitando el ingreso del flujo al depósito), los cuales se encuentran diseñados para eventos meteorológicos de 500 años de periodo de retorno.

Por otro lado, se realizó la evaluación del peligro asociado a la falla del depósito de desmontes Excélsior, para ello, se realizó el modelamiento numérico de la falla de la Desmontera, los resultados de este modelamiento verifican que el material se extiende solo en la zona alta del depósito de relaves y no logra desplazarse hasta la zona del dique principal (ver Figura N° 4.23), por lo que no involucra la falla de este, es por ello que se concluye que no hay mecanismo de fallas creíbles asociados a este peligro. De igual manera, las fallas de las otras desmonteras

ubicadas en la zona norte no lograrían movilizarse hasta la zona del dique principal, por lo que no desencadenaría ningún mecanismo de falla.

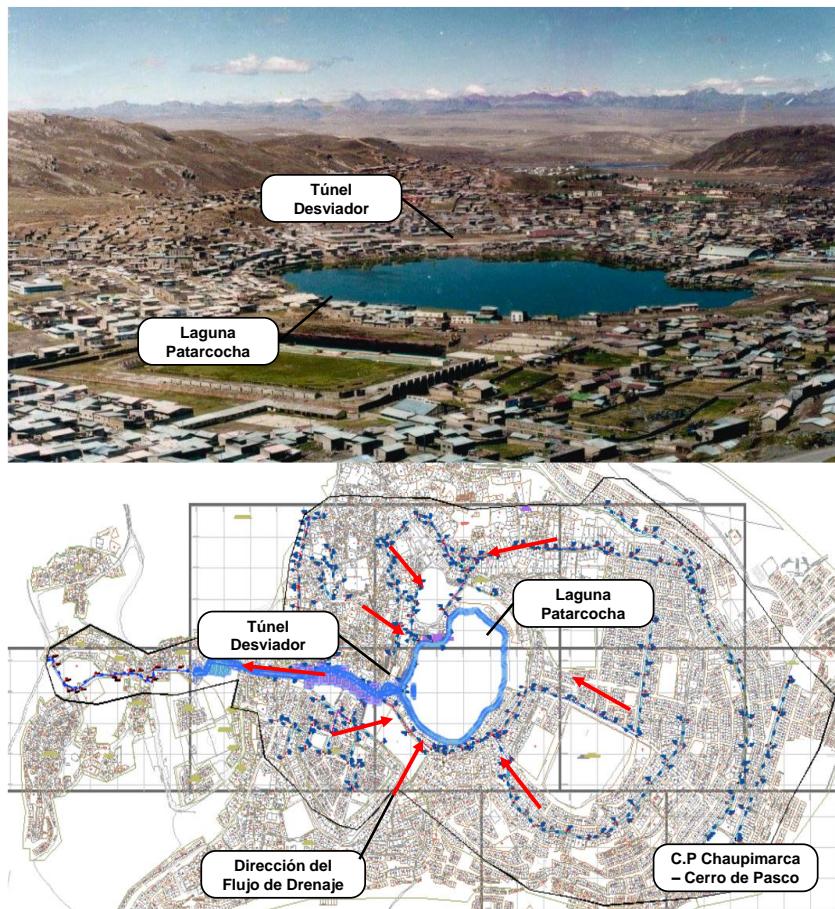


Figura N° 4.22. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro en el entorno del Depósito de Relaves - caso C1 al C14 – Desembalse de la laguna Patarcocha.

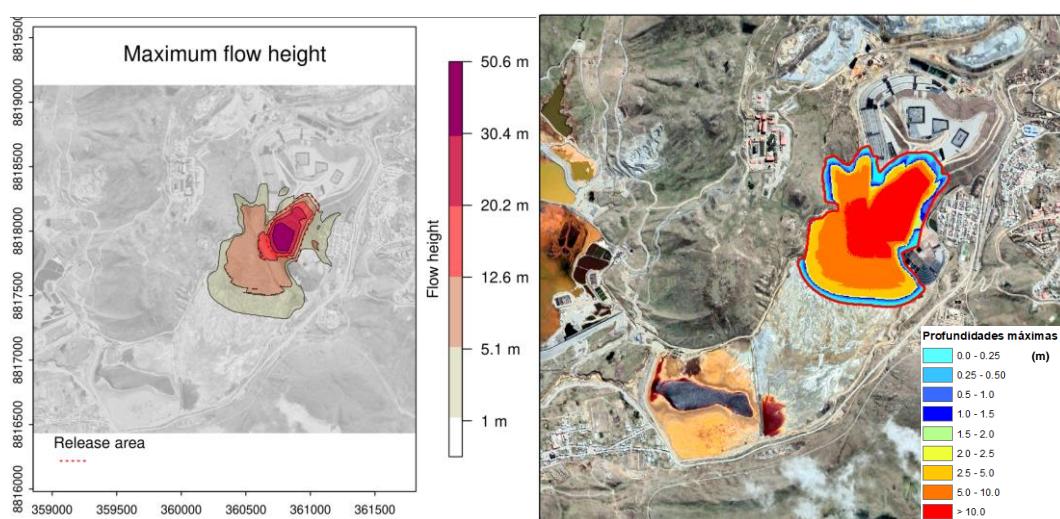


Figura N° 4.23. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro en el entorno del Depósito de Relaves - caso C1 al C14 – Falla del Depósito de desmontes Excélsior.

Caso D5:

Pregunta: ¿Podría el diseño o la construcción de la presa de relaves causar un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba y causar que la presa sea sobrepasada / falla?

Respuesta: Si. Actualmente existe un dique flotante aguas arriba del dique principal, por lo que una pérdida de resistencia o licuefacción estática en este dique, ocasionaría que se movilicen los relaves depositados aguas arriba en dirección hacia el dique principal, ocasionado el sobrepuerto del dique, por lo que se debe de considerar a este mecanismo de falla como “creíble”.

Para llegar a la conclusión de que este mecanismo de falla es “creíble”, se realizó la simulación del desplazamiento de relaves que se liberarían cuando ocurra la falla del dique flotante, para ello se consideró la falla en toda su altura del dique flotante, el cual se encuentra en la cota 4260 msnm, 3.2 m por encima del nivel de la cota de la corona (4256.8 m.s.n.m.). En la Figura N° 4.24 se muestra los resultados de esta evaluación, donde se muestra que la huella de relaves logra sobreponer la cota del dique principal, lo cual puede desencadenar la falla del depósito de relaves Quiulacocha por *Overtopping*.

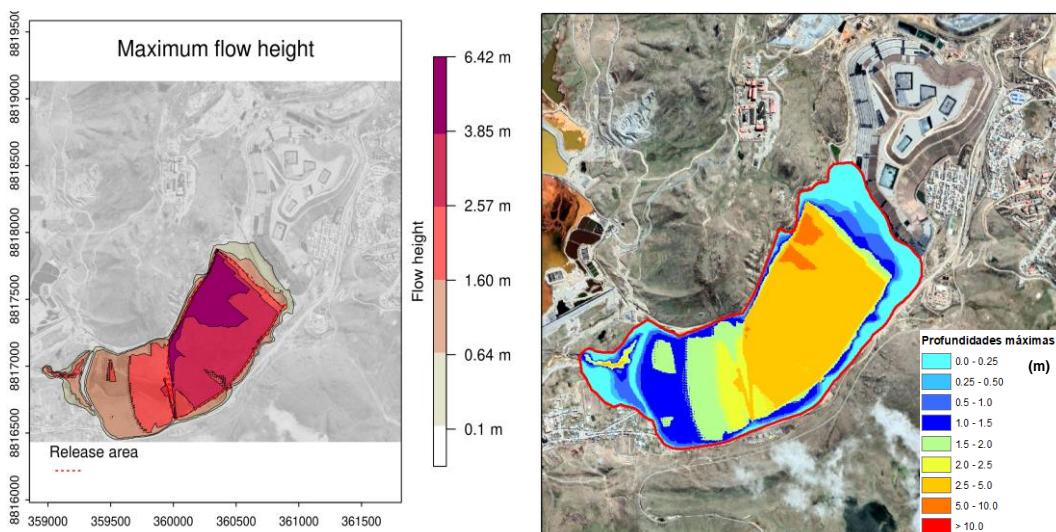


Figura N° 4.24. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro de Barrera de Relaves o Dique de Relaves - caso D5

Caso E1-E14:

Pregunta: ¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica provocar un colapso de la presa por sobrepasso o pérdida de resistencia?

Respuesta: No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica (Ver Figura N° 4.25), los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones normales hidrológicas no afectaría la estabilidad del depósito de relaves; sin embargo, una falla de estos canales en condiciones meteorológicas o sísmicas extremas si podría afectar el dique principal, pero este análisis corresponde a los peligros meteorológicos y/o sísmicos considerados en el ítem A1 al A14 y/o B1 al B14.

Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m³ aproximadamente, ingresarían directamente hacia la zona del *pond*, lo cual implicaría el incremento del nivel del *pond*, sin embargo, no ocasionaría la falla del dique principal al contar con un volumen de contención de hasta 0.54Mm³.

En la Figura N° 4.25 se muestra la vista general de las infraestructuras existentes alrededor del depósito de relaves Quiulacocha.



Figura N° 4.25. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro de Estructuras Hidráulicas - caso E1-E14

Caso F7-F8

Pregunta F7: ¿Es posible que la operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados no detecten y/o eviten fallas en el sistema mecánico / eléctrico que causa el colapso de la presa por sobrepasso?

Respuesta: Sí. La operación inadecuada de los sistemas eléctricos (sistema de bombeo) podría ocasionar que exista una elevación del *pond* hasta la corona lo cual podría provocar la falla por sobrepasso.

Pregunta F8: ¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados de los sistemas mecánicos / eléctricos no logran evitar el desempeño deficiente de las presas y provocar su colapso por pérdida de resistencia?

Respuesta: Sí. La falta de mantenimiento adecuado de los sistemas eléctricos (piezómetros) que identifican las condiciones dentro de la presa podría resultar en una falla en la detección de un desempeño deficiente de la presa, resultando en una falta de respuesta y falla de la presa. Por lo tanto, este es un modo de falla creíble.

Caso G6:

Pregunta: ¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una disipación inadecuada de las olas de viento que provoque el colapso de la presa por sobrepasso?

Respuesta: Sí. En el caso en que no se controlen bien los niveles de operación (planes inadecuados) la producción de olas podría generar el sobrepasso de la presa, ocasionando una falla por *overtopping* debido al inadecuado borde libre existente en el depósito de relaves.

Para llegar a la conclusión de que este mecanismo de falla es “creíble”, se evaluó el comportamiento de los niveles en el depósito de relaves Quiulacocha considerando planes inadecuados, es decir, que el sistema de bombeo empiece a evacuar cuando solo se disponga 0.5m de borde libre (evento común que ocurre en temporada húmeda – caso del 2021), cuando esto ocurra y se produzcan vientos con velocidades de 100 km/h generarían olas de 0.9 m ocasionando el sobrepasso de la presa y provocando una falla por *overtopping*.

En la Figura N° 4.26 se muestra el resumen de la estimación de las alturas de las olas generadas en el depósito de relaves Quiulacocha.

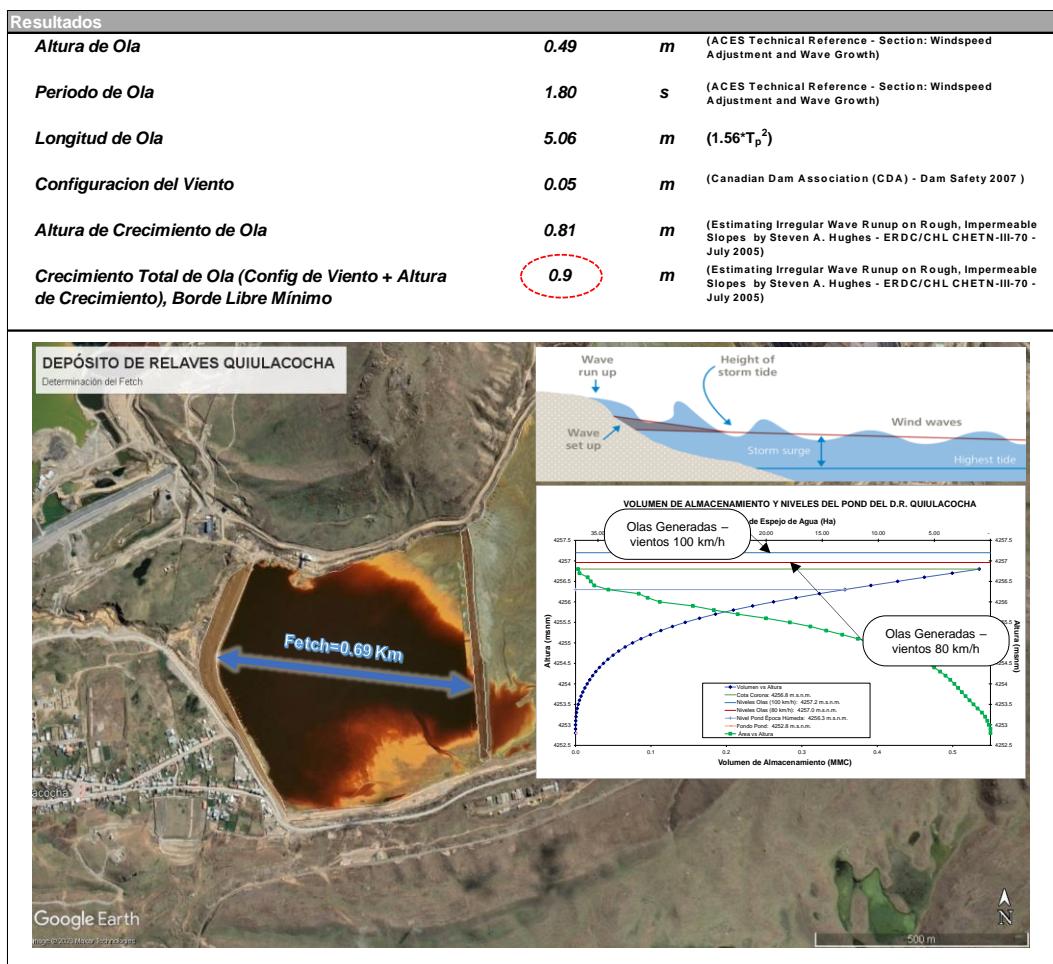


Figura N° 4.26. Análisis del mecanismo de falla relacionado al peligro de Planes Inadecuados - caso G6 – Evaluación de Altura de Olas

A continuación, en la Tabla N° 4.13. Matriz de Modos de Fallas y Peligros – Identificación de modos de falla creíble asociados a peligros existentes., se presenta el resumen de los modos de fallas que están relacionados con los peligros, donde se analizaron todos los casos posibles, desde A1 hasta el G14.

Tabla N° 4.13. Matriz de Modos de Fallas y Peligros – Identificación de modos de falla creíble asociados a peligros existentes.

MODOS DE FALLA GLOBAL	ELEMENTO DE EVALUACIÓN	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE FALLAS FUNCIONALES	PELIGROS EXTERNOS		PELIGROS INTERNOS		
			A	B	C	D	E
COLAPSO DE LA PRESA POR SOBREPASO (Erosión o vuelco)	CAPACIDAD INSTALADA DE DESCARGA INADECUADA	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	X				
		Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	X				
	CAPACIDAD DISPONIBLE DE DESCARGA INADECUADA	Falla funcional aleatoria en la demanda	X				
		Capacidad de descarga no mantenida o retenida	X				
	BORDE LIBRE INADECUADO	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S			X		
		Disipación de la onda de viento inadecuada	X	X			X
	LOS OPERADORES NO PROPORCIONAN OPORTUNAMENTE AVISOS DE DETECCIÓN Y CORRECCIÓN	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica				X	X
		La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa				X	X
	ESTABILIDAD BAJO CARGAS APLICADAS	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)					
		Pérdida de soporte (falla de cimentación o pilar)		X			
COLAPSO DE LA PRESA POR PÉRDIDA DE RESISTENCIA (Falla o debilitación estructural interno o externo)	ESTANQUEIDAD	Filtración alrededor de la interfaz (pilares, cimientos, juntas de construcción)		X			
		A través de la falla del control de infiltración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	X	X			X
	DURABILIDAD/ AGRIETAMIENTO	Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)		X			
		Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)					

Leyenda A Meteorológico B Sísmico C Entorno de reservorio D Barrera de relaves E Estructura hidráulica F Mecánico eléctrico G Infraestructura y planes

Leyenda X Mecanismo de Falla Creíble asociado al Peligro Mecanismo de Falla no Creíble asociado al Peligro No hay relación entre el mecanismo de Falla y el Peligro

Una vez completada la matriz de modos de fallas versus peligros, se han identificado alrededor de 18 escenarios posibles de evaluación que relacionan los peligros y los mecanismos de falla creíbles que pueden desencadenar la falla del depósito de relaves (modos de falla creíbles).

Para el análisis de riesgos se consideraron los 18 escenarios que desencadenan la falla del depósito de relaves y 2 escenarios relacionados a mecanismos de falla no creíbles (no es necesario realizar el análisis de riesgo a los mecanismos de falla no creíbles; sin embargo, al tratarse de una aplicación como parte de la metodología planteada, estos han sido considerados), es por ello que la evaluación de riesgos consideró 20 posibles escenarios.

En la Tabla N° 4.14 se presenta la agrupación realizada como parte del análisis del depósito de relaves de estudio, esta tabla se utiliza como base para el inicio del análisis de riesgos con la herramienta FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*).

Tabla N° 4.14. Lista de Peligros asociados a los mecanismos de falla para evaluación de riesgos

Modo de Falla Global	Elemento de evaluación	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales
Colapso de la presa por sobrepaso	Capacidad instalada de descarga inadecuada	Capacidad meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	- Capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo. El depósito no cuenta con un aliviadero de emergencias y no tiene capacidad de retención.
		Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	- Operación inadecuada de reservorio durante un evento meteorológico mayor al de diseño.
		Falla funcional aleatoria en la demanda	- Falla funcional aleatoria en la demanda durante un evento meteorológico extremo.
		Capacidad de descarga no mantenida o retenida	- Capacidad de descarga no mantenida durante un evento meteorológico extremo
	Borde libre inadecuado	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	- Falla del dique flotante existente en la zona noreste del depósito de relaves.
		Disipación de la onda de viento inadecuada	- Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico.
			- Producción de olas generadas por el viento ante un asentamiento del dique principal producido durante un evento sísmico extremo.
			- Producción de olas generadas por el viento al contar con planes de operación inadecuados

Modo de Falla Global	Elemento de evaluación	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales
Colapso de la presa por pérdida de resistencia (Falla o debilitación estructural interno o externo)	Los operadores no proporcionan oportunamente avisos de detección y correlación	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> - Elevación del nivel de la corona debido a la falta de mantenimiento de estructuras mecánicas/eléctricas o falla en el funcionamiento de estos.
		La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	<ul style="list-style-type: none"> - Elevación del nivel de la corona al no contar con planes de operaciones adecuadas.
	Estabilidad bajo cargas aplicadas	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevación del Nivel freático, nivel freático alto. No se detecta por falta de mantenimiento y/o monitoreo de los piezómetros.
		Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	<ul style="list-style-type: none"> - Elevación del nivel freático al no contar con la vigilancia y gestión adecuada de las infraestructuras de monitoreo (piezómetros).
	Estanqueidad	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	<ul style="list-style-type: none"> - No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. No se ha detectado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.
		Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	<ul style="list-style-type: none"> - Ocurrencia de un sismo mayor al de diseño actual o el MCE.
		Filtración alrededor de la interfaz (estribos, cimientos, juntas)	<ul style="list-style-type: none"> - Evidencia de Filtraciones por la cimentación que podrían ser amplificadas por la ocurrencia de un sismo máximo creíble (MCE)
	Durabilidad/Agrietamiento	A través de la falla del control de filtración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	<ul style="list-style-type: none"> - Falla de control de filtraciones de la presa al durante un evento meteorológico de máximas avenidas. - Falla de control de filtraciones de la presa durante evento sísmico mayor al de diseño. - Falla de control de filtraciones de la presa al contar con planes inadecuados de operación y no contar con un sistema de impermeabilización en la cara aguas arriba del dique principal.
		Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño.
		Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	<ul style="list-style-type: none"> - No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.

4.5. ELABORACIÓN DE LA MATRIZ FMEA

Para evaluar los riesgos en el depósito de relaves Quiulacocha considerando la herramienta de riesgos FMEA, se determinaron los índices de severidad, ocurrencia y detección, estos se detallan a continuación. En el **Anexo V** se muestra la matriz completa la cual ha sido evaluada en el depósito de relaves Quiulacocha.

4.5.1 Severidad

Para determinar el índice de severidad, tomando en cuenta las consideraciones mencionadas en el ítem 3.5.1, se deberá de evaluar las posibles consecuencias de los mecanismos de fallas y peligros evaluados en el depósito de relaves de estudio.

Como parte inicial del análisis, se deberá de realizar un mapeo o identificación de estructuras importantes (centros poblados, instituciones, carreteras, accesos, ríos, quebradas, zonas ganaderas, zonas agrícolas, etc.) que podrían ser afectados en caso se produzca una falla del depósito de relaves en estudio.

En la Figura N° 4.27 se muestra la identificación de infraestructuras importantes que podrían ser afectadas en caso ocurra la falla del depósito de relaves Quiulacocha. Además, se muestra la ubicación de 3 centros poblados los cuales podrían ser afectados, se identificó al Centro Poblado (C.P.) Quiulacocha, C.P. Yurajhuana y C.P. Rancas, estos centros poblados de acuerdo a los censos realizados por el INEI (2018), cuentan con una densidad poblacional de 3.5 habitantes por viviendas en el caso de Quiulacocha, 3 habitantes por viviendas en el caso de Yurajhuana y 2.7 habitantes por viviendas en el C.P. Rancas. Estos datos estadísticos de densidad poblacional serán utilizados para estimar la cantidad de personas que se encuentran en riesgos (PAR – *Population at Risk*) cuando ocurra estos tipos de eventos.

Asimismo, se identificaron infraestructuras pertenecientes a empresas mineras emplazadas en la ciudad de cerro de Pasco, entre los principales componentes identificados se tiene el depósito de relaves operativo ubicado al norte del C.P Quiulacocha, las pozas de sedimentación en la zona Oeste del C.P. Quiulacocha, entre otros componentes mineros principales.

Por otro lado, también se identificaron infraestructuras principales en los centros poblados, tales como colegios, plazas, coliseos, estadios municipales, entre otros. (Ver Figura N° 4.27). Asimismo, una de las infraestructuras primordiales para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de cerro se encuentra a 150 m al Oeste del depósito de relaves Quiulacocha, este sistema de impulsión existente se encarga de abastecer la dotación poblacional en la ciudad de cerro de Pasco (Yurajhuana, Quiulacocha, Champamarca, Paragsha, AAHH Buenos Aires, AAHH José Carlos Mariátegui, entre otros) captando e impulsando las aguas del

río San Juan, específicamente en la zona del C.P. Yurajhuanca, la falla del depósito de relaves Quiulacocha implicaría la afectación de esta línea dejando a gran parte de la población de la ciudad de cerro de Pasco sin el suministro de agua potable.

Además, se identificaron accesos principales que unen los centros poblados de San Antonio de Rancas, Yurajhuanca y Quiulacocha con la ciudad de cerro Pasco, la inhabilitación de estos accesos, implicaría la interrupción de las actividades económicas de la población de estos centros poblados.



Figura N° 4.27. Identificación de centros poblados e infraestructuras importantes aguas abajo del Depósito de Relaves en Análisis

Para poder evaluar la severidad de posibles consecuencias de la falla del depósito de Relaves Quiulacocha, se tomará en cuenta la identificación de las infraestructuras existentes aguas abajo de la ubicación del depósito, el siguiente punto a evaluar consiste en realizar modelamientos numéricos preliminares, con la finalidad de obtener huellas de inundación previas los cuales ayudarán a identificar las posibles consecuencias cuando sucedan estos tipos de evento.

Para los modelamientos preliminares de inundación de relaves se consideró 2 casos, el primero considera condiciones hidrológicas normales (Sunny Day), en donde se considera que la inundación aguas abajo son causadas únicamente por la falla de la presa. Por otro lado, el segundo caso considera condiciones hidrológicas con precipitaciones extremas (Rainy Day), en este caso solo se considerará los impactos de inundación incrementales, es decir los causados únicamente por la falla del depósito de relaves Quiulacocha menos los causados por la inundación meteorológica sin la falla del depósito de relaves.

En el **Anexo VI** se muestra detalles de las consideraciones como volúmenes movilizados, formación de brechas y tiempos de desarrollos considerados en los modelamientos numéricos preliminares del depósito de relaves Quiulacocha.

A continuación, en la Figura N° 4.28a se muestran las huellas de inundación del caso 1 y en la Figura N° 4.28b se muestran las profundidades máximas del modelamiento preliminar del caso 1, tal como se comentó anteriormente para la cuantificación de consecuencias se deberá de considerar toda la huella de inundación.

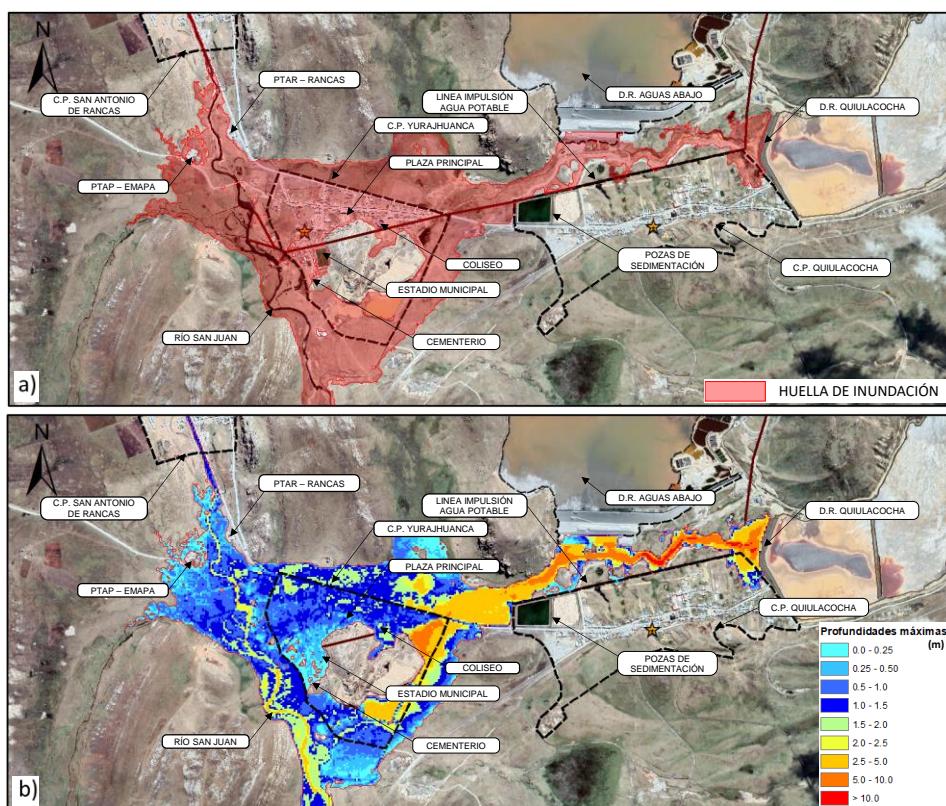


Figura N° 4.28. Huella de Inundación y Profundidades máximas del modelamiento numérico preliminar de la falla del depósito de relaves Quiulacocha - Falla en condiciones hidrológicas normales (Sunny Day).

Asimismo, en la Figura N° 4.29a se muestra la huella de inundación del caso 2, donde se muestra la huella de inundación cuando no se considere la falla del depósito de relaves (huella celeste), es decir, propia de la inundación ocasionada por las precipitaciones extremas, también se muestra la huella de inundación considerando la falla del depósito de relaves (huella celeste + huella roja). Tal como se comentó anteriormente para la cuantificación de consecuencias solo se deberá de considerar las consecuencias incrementales (huella de inundación incremental – huella roja).

En la Figura N° 4.29b se presenta las profundidades máximas alcanzadas en el modelamiento preliminar – caso 2. Mayores detalles se muestran en los Mapas de inundación (ver **Anexo VIII**)

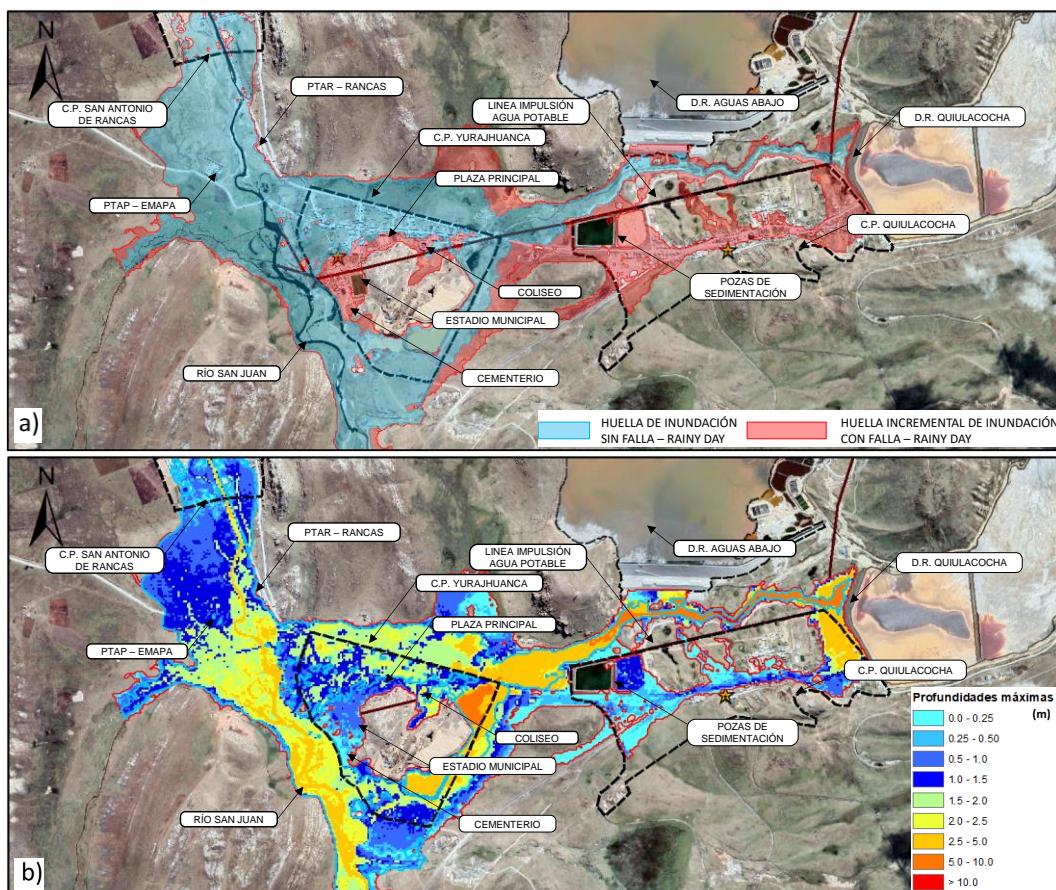


Figura N° 4.29. Huella de Inundación y Profundidades máximas del modelamiento numérico preliminar de la falla del depósito de relaves Quiulacocha - Falla en condiciones hidrológicas extremas (Rainy Day).

Una vez obtenido los resultados de los modelamientos numéricos preliminares, se procederá a realizar la cuantificación de ambos casos, para ello se tendrá en cuenta las categorías comentadas en el **ítem 3.5.1**, estas categorías son:

- Población Potencial en Riesgo (PAR, *Population At Risk*);
- Pérdida potencial de vidas (PLL, *Potential Loss of Life*);
- Daños ambientales;
- Daños a la salud, social y cultural;
- Daños a la infraestructura; y
- Economía.

En la Tabla N° 4.15 y Tabla N° 4.16 se muestra la cuantificación de consecuencias asociados a la población de riesgo y pérdida potencial de vidas, asimismo, en la Tabla N° 4.17 se presenta las otras categorías.

Tabla N° 4.15. Población Potencial en Riesgo y la Pérdida Potencial de Vidas – Falla en condiciones hidrológicas normales (Sunny day)- Caso 1

Localidad	Población Potencial en Riesgo (PAR)		Tiempo de llegada (min)	Pérdida Potencial de Vidas - PLL (*)
	Viviendas	Población		
C.P. Quiulacocha	1	4	6	1
Población Dispersa - San Antonio de Rancas	7	19	12	9
C.P. Yurajhuanca	352	1056	20	111
C.P. San Antonio de Rancas	-	-	30	-
Población afectada	360	1078		121

Tabla N° 4.16. Población Potencial en Riesgo y Pérdida Potencial de Vidas – Falla en condiciones hidrológicas extremas (Rainy day) – Caso 2

Localidad	Población Potencial en Riesgo (PAR)		Tiempo de llegada (min)	Pérdida Potencial de Vidas - PLL (*)
	Viviendas	Población		
C.P. Quiulacocha	257	900	6	63
Población Dispersa - San Antonio de Rancas	4	11	12	2
C.P. Yurajhuanca	140	420	20	44
C.P. San Antonio de Rancas	2	5	30	1
Población afectada	403	1336		110

Tabla N° 4.17. Cuantificación de posibles consecuencias en el depósito de relaves Quiulacocha

Consecuencias Evaluadas	Clasificación de pérdidas	Descripción de pérdidas identificadas	Und.	Cantidad Caso 1	Cantidad Caso 2
Población potencial en riesgo	Población potencial en riesgo (PAR)	Centros Poblados (Quiulacocha, Yurajhuanca, San Antonio de Rancas)	Pers.	ver Tabla N° 4.15	ver Tabla N° 4.16
Pérdida potencial de vidas	Pérdida potencial de vidas (PLL)	Centros Poblados (Quiulacocha, Yurajhuanca, San Antonio de Rancas)	Pers.		
Medioambiente	Pérdida o deterioro del hábitat o especies raras y en peligros de extinción	Afectación mínima a corto plazo del hábitat.	-	Si	Si
	Contaminación a suministro de agua para el ganado o la fauna	El agua es usada como suministro para el ganado y/o fauna de la zona.	-	Si	Si
	Relaves Generadores de Acido	Liberación de Relaves con potencial generador de Acidez.	-	Si	Si
	Área potencial de impacto	El área directamente afectada será <10 km ²	km ²	1.8	1.4
	Restauración	Se requiere restauración del cauce del río Ragra y San Juan.	km	4.4	4.4
Salud, sociales y culturales	Interrupción de negocios y medios de subsistencia	Interrupción de negocios de pequeña a menor escala (>1000 personas)	-	Si	Si
	Efectos en la Salud Humana	Afecta el suministro de agua.	-	Si	Si
	Activos patrimoniales, recreativos, comunitarios o culturales.	Alteración de activos patrimoniales, recreativos, comunitarios o culturales regionales (Plaza Principal, Estadio Municipal y El coliseo).	-	Sí	Sí
Infraestructura y economía	Infraestructura	Infraestructura de Mina afectada (Depósito de relaves y Pozas de Sedimentación)	Und.	3	3
	Servicios	Afectación a rutas de transporte	km	2.2	1.9
	Comunidades	Afectaría comunidades	Und.	3	3
	Valor	< 100 millones de dólares	MUSD	<100	<100

Tal como se puede apreciar en las tablas anteriores, ambos casos evaluados conllevarían similares consecuencias, el PAR (Población Potencial en Riesgo) se encuentra por encima de los 1000 y el PLL (Pérdida Potencial de Vidas) por encima de las 100 personas, por lo que se trataría de una severidad catastrófica.

En la Figura N° 4.30 se muestra la severidad que corresponde para cada categoría evaluada, se deberá de considerar la severidad con mayor índice, en el caso de los depósitos de relaves, las variables críticas se dan en la categoría PAR y PLL, donde se observa una clasificación de severidad Catastrófica.

		Perdidas-Incrementales ^a				
Rating ^a	Severidad ^a	Población-potencial-en-riesgo ^a	Pérdida-potencial-de-vidas ^a	Medio-Ambiente ^a	Salud, ámbito-cultural-y-social ^a	Infraestructura-y-economía ^a
1 ^a	Menor ^a	Ninguna ^a	Ninguna-esperada ^a	A corto plazo, mínima pérdida o deterioro de hábitat o de especies raras y en peligro de extinción. ^a	Efectos mínimos e interrupción ligera de las actividades económicas y medios de subsistencia. Ningún efecto medible sobre la salud humana. Ninguna alteración del patrimonio, o los bienes comunitarios, culturales o recreativos. ^a	Pérdidas económicas bajas; el área contiene escasa infraestructura o servicios. (<USD 1M) ^a
2 ^a	Temporal ^a	1 – 10 ^a	Sin especificar ^a	Ninguna pérdida o deterioro de hábitat significativo. Relaves altamente generador de ácido y con bajo potencial de lixiviación neutra. ^a Restauración posible (1 a 5 años). ^a	Interrupción significativa de actividades económicas y servicios. Baja probabilidad de pérdida de patrimonio o bienes comunitarios, culturales o recreativos regionales. Baja probabilidad de efectos en la salud. ^a	Pérdidas en instalaciones recreativas, lugares de trabajo estacionales y rutas de transporte de uso poco frecuente. (<USD 10M) ^a
3 ^a	Permanente ^a	10 – 100 ^a	Possible ^a (1-10) ^a	Significativa pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Agua de proceso moderadamente tóxica. Área potencial de impacto (10 ^a -20 km ^a). Restauración posible (difícil, > 5 años). ^a	500-1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios. Perturbación del patrimonio regional, de los bienes comunitarios o culturales, instalaciones recreativas. Posibilidad de efectos en la salud humana a corto plazo. ^a	Grandes pérdidas económicas que afectan la infraestructura, el transporte público, las instalaciones comerciales y el empleo. Moderada reubicación y indemnización a las comunidades. (<USD 100M) ^a
4 ^a	Fatalidad ^a	100 – 1000 ^a	Probable ^a (10-100) ^a	Importante pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto (>20 km ^a). Restauración o indemnización posible, pero muy difícil, requiere un largo período (5 a 20 años). ^a	>1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios. Destrucción de patrimonio nacional, de instalaciones comunitarias o bienes culturales. Posibilidad de efectos significativos en la salud humana a largo plazo. ^a	Pérdidas económicas muy grandes, que afectan a importantes obras de infraestructura o servicios (autopistas, instalaciones industriales). Importante reubicación/compensación para las comunidades. (<USD 1B) ^a
5 ^a	Catastrófico ^a	> 1000 ^a	Mucho ^a (más de 100) ^a	Pérdida catastrófica de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto >20 km ^a . Imposible restauración o compensación en especie, se requiere de un largo período (>20 años). ^a	>5000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios. Destrucción de patrimonio o de instalaciones comunitarias o bienes culturales a nivel nacional. Posibilidad de efectos graves en la salud humana y/o a largo plazo. ^a	Pérdidas económicas extremas que afectan la infraestructura y los servicios críticos (hospitales, complejos industriales importantes). Reubicación/compensación muy importante a las comunidades y costos de reajuste social muy altos. (>USD 1B) ^a

Figura N° 4.30. Índice de Severidad según categorías de evaluación

Esta evaluación de severidad se relacionó con cada uno de los mecanismos de falla, considerando los criterios de categorías asociados a la población en riesgo (PAR). En la Tabla N° 4.18 se muestra la Severidad y el Índice de Severidad para cada mecanismo de Falla.

Tabla N° 4.18. Determinación del índice de Severidad según los posibles efectos de Falla

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales		SEV
	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?	¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es el impacto de las variables cuando hay un fallo?	
Colapso de la presa por sobrepaso	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	- Capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo. El depósito no cuenta con un aliviadero de emergencias y no tiene capacidad de retención.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	- Operación inadecuada de reservorio durante un evento meteorológico mayor al de diseño.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Falla funcional aleatoria en la demanda	- Falla funcional aleatoria en la demanda durante un evento meteorológico extremo.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Capacidad de descarga no mantenida o retenida	- Capacidad de descarga no mantenida durante un evento meteorológico extremo	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	- Falla del dique flotante existente en la zona noreste del depósito de relaves.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Disipación de la onda de viento inadecuada	- Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Producción de olas generadas por el viento ante un asentamiento del dique principal producido durante un evento sísmico extremo.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Producción de olas generadas por el viento al contar con planes de operación inadecuados	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	- Elevación del pond de agua hasta el nivel de la corona debido a la falta de mantenimiento de estructuras mecánicas/eléctricas o falla en el funcionamiento de estos.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Elevación del pond de agua hasta el nivel de la corona al no contar con planes de operaciones adecuadas.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales		SEV
	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?	¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es el impacto de las variables cuando hay un fallo?	
Colapso de la presa por pérdida de resistencia (Falla o debilitación estructural interno o externo)	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	- Elevación del Nivel freático, nivel freático alto. No se detecta por falta de mantenimiento y/o monitoreo de los piezómetros.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Elevación del nivel freático al no contar con la vigilancia y gestión adecuada de las infraestructuras de monitoreo (piezómetros).	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. No se ha detectado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.	Población potencial en riesgo	Menor: Ninguna	1
	Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	- Ocurrencia de un sismo mayor al de diseño actual o el MCE.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Filtración alrededor de la interfaz (estribos, cimientos, juntas)	- Evidencia de Filtraciones por la cimentación que podrían ser amplificadas por la ocurrencia de un sismo máximo creíble (MCE)	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Falla de control de filtraciones de la presa al durante un evento meteorológico de máximas avenidas.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Falla de control de filtraciones de la presa durante evento sísmico mayor al de diseño.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	A través de la falla del control de filtración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	- Falla de control de filtraciones de la presa al contar con planes inadecuados de operación y no contar con un sistema de impermeabilización en la cara aguas arriba del dique principal.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
		- Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5
	Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Población potencial en riesgo	Menor: Ninguna	1

4.5.2 Ocurrencia

Tal como se comentó en el **ítem 3.5.2**, el índice de Ocurrencia está relacionado a la probabilidad de que una causa potencial de falla (causa específica – ver Tabla N° 4.19) se produzca y de lugar al modo de falla. Las probabilidades se encuentran identificadas en un rango que va desde muy bajo o despreciable (probabilidad ocurrencia más baja / 1) a Muy alta (mayor probabilidad de ocurrencia / 5)

Además, se debe elegir el criterio de análisis de ocurrencia para cada mecanismo de falla, para ello habrá de hacer uso de la Tabla N° 3.8 (ver **ítem 3.5.2**).

Por ejemplo, para seleccionar el criterio de análisis para peligros sísmicos o peligros meteorológicos, se debe considerar periodos de retorno, es decir, identificar a que periodos de retorno se encuentran relacionados estos peligros que desencadenan una falla en el depósito. Una aplicación de ello lo tenemos en el primer mecanismo de falla, donde se considera como causa principal la capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo, es ahí donde se tiene que identificar a que periodo de retorno se encuentra asociado dicho evento meteorológico, en el caso del depósito de relaves Quiulacocha (según la evaluación realizada en el **ítem 4.4**) el evento meteorológico extremo se refiere a cuando se produzcan precipitaciones mayores a 1000 años, este periodo de retorno se encuentra asociado a un nivel de ocurrencia Bajo, con un índice igual a 2.

Por otro lado, cuando se trata de condiciones o causas operativas, tal es el caso de operación inadecuada o procedimientos inadecuados, se debe optar por considerar criterios operativos. Por ejemplo, una operación inadecuada de los sistemas electro- mecánicos o falta de mantenimientos, se puede asociar a un evento que podría ocurrir una vez, clasificando a este como un nivel de ocurrencia Moderado, con un índice de ocurrencia igual a 3.

La determinación del índice de ocurrencia para todos los mecanismos de falla se detalla en la Tabla N° 4.19 donde se muestra el criterio de análisis para el índice de ocurrencia y el valor del índice de ocurrencia. Para los mecanismos de fallas determinados en el depósito de relave Quiulacocha se cuentan con criterios de ocurrencia relacionados a periodos de retorno, criterios operativos y probabilidad de ocurrencia de un año dado.

Tabla N° 4.19. Determinación del índice de ocurrencia según la probabilidad de ocurrencia.

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Probabilidad de Ocurrencia		OC
			¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es la probabilidad de que ocurra la variable de falla?	
Colapso de la presa por sobrepasos	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?			
	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	- Capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo. El depósito no cuenta con un aliviadero de emergencias y no tiene capacidad de retención.	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2
	Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	- Operación inadecuada de reservorio durante un evento meteorológico mayor al de diseño.	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3
	Falla funcional aleatoria en la demanda	- Falla funcional aleatoria en la demanda durante un evento meteorológico extremo.	Criterio Operativo	Bajo: El evento puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales	2
	Capacidad de descarga no mantenida o retenida	- Capacidad de descarga no mantenida durante un evento meteorológico extremo	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2
	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	- Falla del dique flotante existente en la zona noreste del depósito de relaves.	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Bajo: 0.01% - 0.1%	2
	Disipación de la onda de viento inadecuada	- Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico.	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3
		- Producción de olas generadas por el viento ante un asentamiento del dique principal producido durante un evento sísmico extremo.	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2
		- Producción de olas generadas por el viento al contar con planes de operación inadecuados	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3
	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	- Elevación del pond de agua hasta el nivel de la corona debido a la falta de mantenimiento de estructuras mecánicas/eléctricas o falla en el funcionamiento de estos.	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3
		- Elevación del pond de agua hasta el nivel de la corona al no contar con planes de operaciones adecuadas.	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Probabilidad de Ocurrencia		OCU
			¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es la probabilidad de que ocurra la variable de falla?	
Colapso de la presa por pérdida de resistencia (Falla o debilitación estructural interno o externo)	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?			
	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	- Elevación del Nivel freático, nivel freático alto. No se detecta por falta de mantenimiento y/o monitoreo de los piezómetros.	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3
		- Elevación del nivel freático al no contar con la vigilancia y gestión adecuada de las infraestructuras de monitoreo (piezómetros).	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3
	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. No se ha detectado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Despreciable: Menos de 0.01%	1
	Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	- Ocurrencia de un sismo mayor al de diseño actual o el MCE.	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2
	Filtración alrededor de la interfaz (estribos, cimientos, juntas)	- Evidencia de Filtraciones por la cimentación que podrían ser amplificadas por la ocurrencia de un sismo máximo creíble (MCE)	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3
		- Falla de control de filtraciones de la presa al durante un evento meteorológico de máximas avenidas.	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2
		- Falla de control de filtraciones de la presa durante evento sísmico mayor al de diseño.	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3
	Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	- Falla de control de filtraciones de la presa al contar con planes inadecuados de operación y no contar con un sistema de impermeabilización en la cara aguas arriba del dique principal.	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3
		- Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño.	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3
	Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Despreciable: Menos de 0.01%	1

4.5.3 Detección

Tal como se comentó en el **ítem 3.5.3**, el índice de detección nos indica qué tan eficiente son los controles en el diseño, operación y procedimientos, el cual nos ayuda a conocer la posibilidad de detectar una falla potencial.

Para determinar este índice se tiene que verificar si existe control en el diseño de ingeniería que permita detectar o controlar la falla (ejemplo: construcción de aliviadero de descarga para eventos meteorológicos extremos) y si existe algún tipo de control o procedimientos rutinario para detectar un modo o tipo de falla (ejemplo: registro de niveles de operación en laguna sobrenadante)

Los criterios de detección y rangos de evaluación se detallan en la Tabla N° 3.9 (ver **ítem 3.5.3**)

En la Tabla N° 4.20 se resumen los índices de detección, para cada mecanismo de falla en el Depósito de relaves Quiulacocha. En términos generales este depósito cuenta con pocos controles de detección, dentro de los cuales podemos mencionar la instrumentación geotécnica para monitoreo de los niveles piezométricos y al incremento de la capacidad de bombeo de las aguas del *pond*. Asimismo, cuenta con procedimientos para la evacuación del *pond* o laguna sobrenadante. Como parte de un control rutinario también se puede considerar el acceso a registros meteorológicos en tiempo real, con el cual se puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos que pueden conllevar a desencadenar la falla. Por otro lado, carecen de controles de diseño como la adecuación de criterios de diseño a estándares internacionales, no se cuenta con un diseño de ingeniería para la implementación de un aliviadero de descarga, no se cuenta con instrumentación de inclinómetros y acelerógrafos, no se respeta el borde libre mínimo, entre otros.

Tabla N° 4.20. Determinación del índice de Detección según los controles en el diseño y/o procedimientos que permiten detectar la falla.

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Controles de Detección					DET
			¿Existe algún control en el diseño de ingeniería que permita detectar o controlar la falla? ¿Cuáles son?	Valor	¿Existen algún tipo de control o procedimiento rutinario para detectar esta falla? ¿Cuáles son?	Valor		
Colapso de la presa por sobrepasos	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	- Capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo. El depósito no cuenta con un aliviadero de emergencias y no tiene capacidad de retención.	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga.	Muy remota: 5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta: 2 5
	Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	- Operación inadecuada de reservorio durante un evento meteorológico mayor al de diseño.	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga. Cuenta con sistemas de bombeo de hasta 10 200 m ³ diarios; sin embargo, podría ser insuficiente durante un evento meteorológico.	Muy remota: 5	Sí	- Existen procedimientos de operación para los sistemas de descargas. Por otro lado, se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta: 2 5
	Falla funcional aleatoria en la demanda	- Falla funcional aleatoria en la demanda durante un evento meteorológico extremo.	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga. Cuenta con sistemas de bombeo de hasta 10 200 m ³ diarios; sin embargo, podría ser insuficiente para un evento meteorológico.	Muy remota: 5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta: 2 5
	Capacidad de descarga no mantenida o retenida	- Capacidad de descarga no mantenida durante un evento meteorológico extremo	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga. Cuenta con sistemas de bombeo de hasta 10 200 m ³ diarios; sin embargo, podría ser insuficiente para un evento meteorológico.	Muy remota: 5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta: 2 5
	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	- Falla del dique flotante existente en la zona noreste del depósito de relaves.	Sí	- Cuenta con instrumentación geotécnica para monitoreos.	Moderada: 3	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros).	Moderada: 3 3
	Disipación de la onda de viento inadecuada	- Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico. - Producción de olas generadas por el viento ante un asentamiento del dique principal producido durante un evento sísmico extremo.	No	-El diseño de borde libre no está bajo los estándares correctos.	Muy remota: 5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta: 2 5
			No	-El diseño de borde libre no está bajo los estándares correctos.	Muy remota: 5	Sí	-Monitoreo de los desplazamientos de la relavera en base a los hitos topográficos e inclinómetros.	Alta: 2 5

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Controles de Detección					DET	
			¿Existe algún control en el diseño de ingeniería que permita detectar o controlar la falla? ¿Cuáles son?	Valor	¿Existen algún tipo de control o procedimiento rutinario para detectar esta falla? ¿Cuáles son?	Valor			
La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?	¿Existe algún control en el diseño de ingeniería que permita detectar o controlar la falla? ¿Cuáles son?	Valor	¿Existen algún tipo de control o procedimiento rutinario para detectar esta falla? ¿Cuáles son?	Valor	DET		
		- Producción de olas generadas por el viento al contar con planes de operación inadecuados	No	-El diseño de borde libre no está bajo los estándares correctos.	Muy remota: 5	Sí	-Monitoreo del nivel del pond en el depósito de relaves, así como monitoreo de las condiciones meteorológicas.	Alta: 2	5
	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	- Elevación del pond de agua hasta el nivel de la corona debido a la falta de mantenimiento de estructuras mecánicas/eléctricas o falla en el funcionamiento de estos.	SI	- Aumento de la capacidad de descarga en la laguna de operación de las estructuras mecánicas/eléctricas.	Baja: 4	Sí	-Monitoreo del nivel del pond en el depósito de relaves.	Alta: 2	4
		- Elevación del pond de agua hasta el nivel de la corona al no contar con planes de operaciones adecuadas.	SI	- Aumento capacidad de descarga existente en la laguna de operación para la disminución del nivel del Pond.	Baja: 4	Sí	-Monitoreo del nivel del pond en el depósito de relaves.	Alta: 2	4
Colapso de la presa por pérdida de resistencia (Falla o debilitación estructural interno o externo)	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	- Elevación del Nivel freático, nivel freático alto. No se detecta por falta de mantenimiento y/o monitoreo de los piezómetros.	SI	-Se dispone de instrumentación geotécnica que pueden detectar el nivel freático.	Baja: 4	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros).	Moderada: 3	4
		- Elevación del nivel freático al no contar con la vigilancia y gestión adecuada de las infraestructuras de monitoreo (piezómetros).	SI	-Se dispone de instrumentación geotécnica que pueden detectar el nivel freático.	Baja: 4	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada.	Moderada: 3	4
	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. No se ha detectado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.	No	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Muy alta: 1	No	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Muy alta: 1	1
	Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	- Ocurrencia de un sismo mayor al de diseño actual o el MCE.	No	- El diseño no comprende el sometimiento de la estructura a un sismo MCE.	Muy remota: 5	Si	- Evaluación de estabilidad física. -Monitoreo de los desplazamientos de la relavera en base a los hitos topográficos.	Moderada: 3	5
	Filtración alrededor de la interfaz (estribos, cimientos, juntas)	- Evidencia de Filtraciones por la cimentación que podrían ser amplificadas por la ocurrencia de un sismo máximo creíble (MCE)	Si	- Las filtraciones presentes de los relaves depositos son captadas en la poza de filtraciones al pie del dique principal.	Moderada: 3	Si	- Mediante dossier de calidad se debe verificar la adecuada conformidad de las estructuras involucradas.	Moderada: 3	3

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Controles de Detección						DET
			¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?	¿Existe algún control en el diseño de ingeniería que permita detectar o controlar la falla? ¿Cuáles son?	Valor	¿Existen algún tipo de control o procedimiento rutinario para detectar esta falla? ¿Cuáles son?	Valor	
A través de la falla del control de filtración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	<ul style="list-style-type: none"> -Falla de control de filtraciones de la presa al durante un evento meteorológico de máximas avenidas. - Falla de control de filtraciones de la presa durante evento sísmico mayor al de diseño. -Falla de control de filtraciones de la presa al contar con planes inadecuados de operación y no contar con un sistema de impermeabilización en la cara aguas arriba del dique principal. 	No	<ul style="list-style-type: none"> - El talud aguas arriba de la presa no se encuentra revestido con algún material o geosintético impermeable. Las filtraciones existentes son captadas en la poza de filtraciones ubicadas al pie del dique principal. 	Muy remota: 5	Sí	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros). 	Moderada: 3	5	
		Sí	<ul style="list-style-type: none"> - Cuenta con instrumentación geotécnica que pueden detectar el nivel freático. 	Baja: 4	Sí	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros). 	Moderada: 3	4	
		Sí	<ul style="list-style-type: none"> - Cuenta con instrumentación geotécnica que pueden detectar el nivel freático. 	Baja: 4	Sí	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros). 	Moderada: 3	4	
Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño. 	No	<ul style="list-style-type: none"> - El diseño no comprende el sometimiento de la estructura para sismos mayores a periodos de retorno de 500 años o un MCE. - No cuenta con un diseño adecuado de instrumentación geotécnica (Inclinómetros y acelerógrafos). 	Muy remota: 5	No	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de estabilidad física. -Monitoreo de los desplazamientos de la relajera en base a los hitos topográficos. 	Moderada: 3	5	
Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	<ul style="list-style-type: none"> - No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. 	Sí	<ul style="list-style-type: none"> - No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. Los relaves son susceptibles a licuefacción sin embargo estos serían contenidos en el dique principal. 	Muy alta: 1	Sí	<ul style="list-style-type: none"> - No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble 	Muy alta: 1	1	

4.5.4 Evaluación de Riesgos

Cuando ya se tengan definidas los índices de severidad, ocurrencia y detección, se pueden determinar el riesgo y los niveles prioritarios de riesgo para cada mecanismo de falla que se encuentra asociado a un peligro.

En la Tabla N° 4.21 se muestra el resumen del riesgo y niveles propietarios de riesgo para cada uno de los elementos analizados en el depósito de relaves Quiulacocha, estos han sido clasificados tomando en cuenta las matrices presentadas en el **ítem 3.5.4**, la clasificación de riesgos y niveles prioritarios de riesgos van desde un rango Bajo hasta un rango Muy Alto.

Tabla N° 4.21. Resumen de niveles de riesgo y niveles prioritarios de riesgo.

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	SEV	OCU	R	DET	NPR
Colapso de la presa por sobre paso	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	- Capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo. El depósito no cuenta con un aliviadero de emergencias y no tiene capacidad de retención.	5	2	10	5	50
	Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	- Operación inadecuada de reservorio durante un evento meteorológico mayor al de diseño.	5	3	15	5	75
	Falla funcional aleatoria en la demanda	- Falla funcional aleatoria en la demanda durante un evento meteorológico extremo.	5	2	10	5	50
	Capacidad de descarga no mantenida o retenida	- Capacidad de descarga no mantenida durante un evento meteorológico extremo	5	2	10	5	50
	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	- Falla del dique flotante existente en la zona noreste del depósito de relaves.	5	2	10	3	30
	Disipación de la onda de viento inadecuada	- Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico.	5	3	15	5	75
		- Producción de olas generadas por el viento ante un asentamiento del dique principal producido durante un evento sísmico extremo.	5	2	10	5	50
		- Producción de olas generadas por el viento al contar con planes de operación inadecuados	5	3	15	5	75
	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	- Elevación del nivel de agua hasta el nivel de la corona debido a la falta de mantenimiento de estructuras mecánicas/eléctricas o falla en el funcionamiento de estos.	5	3	15	4	60

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	SEV	OCU	R	DET	NPR
Colapso de la presa por pérdida de resistencia (Falla o debilitación estructural interno o externo)		- Elevación del nivel de agua hasta el nivel de la corona al no contar con planes de operaciones adecuadas.	5	3	15	4	60
	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	- Elevación del Nivel freático, nivel freático alto. No se detecta por falta de mantenimiento y/o monitoreo de los piezómetros. - Elevación del nivel freático al no contar con la vigilancia y gestión adecuada de las infraestructuras de monitoreos (piezómetros).	5	3	15	4	60
	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. No se ha detectado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.	1	1	1	1	1
	Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	- Ocurrencia de un sismo mayor al de diseño actual o el MCE.	5	2	10	5	50
	Filtración alrededor de la interfaz (estribos, cimientos, juntas)	- Evidencia de Filtraciones por la cimentación que podrían ser amplificadas por la ocurrencia de un sismo máximo creíble (MCE)	5	3	15	3	45
	A través de la falla del control de filtración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	- Falla de control de filtraciones de la presa al durante un evento meteorológico de máximas avenidas. - Falla de control de filtraciones de la presa durante evento sísmico mayor al de diseño. - Falla de control de filtraciones de la presa al contar con planes inadecuados de operación y no contar con un sistema de impermeabilización en la cara aguas arriba del dique principal.	5	2	10	5	50
	Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	- Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño.	5	3	15	5	75
	Cambio instantáneo de estado (llicuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	1	1	1	1	1

4.6. SELECCIÓN DE MODOS DE FALLAS CREÍBLES PARA ESCENARIOS DE EVALUACIÓN

Una vez determinado los niveles prioritarios de riesgo (ver Tabla N° 4.21) para cada mecanismo de falla, se tiene que clasificar estos mecanismos según el tipo de evento hidrológico, es decir si se encuentran relacionados a un escenario *Rainy day* o a un escenario *Sunny day*.

En la Tabla N° 4.22 se detallan los 4 escenarios que cuentan con el mayor nivel prioritario de riesgo, de los cuales 3 escenarios de falla se encuentran asociados al mecanismo de falla por sobrepaso u overtopping y 1 mecanismo de falla asociado al mecanismo de falla por pérdida de resistencia. Además, se observa que 2 de estos 4 escenarios están relacionados al escenario hidrológico *Sunny Day* y los otros 2 al escenario hidrológico *Rainy Day*.

Tabla N° 4.22. Modos de Fallas creíbles seleccionados para escenarios hidrológicos *Sunny day* y *Rainy day*

Modo de Falla Global	Características Básicas de Fallas Funcionales	Causas Potenciales	Nº R	Clasificación	¿Está Relacionado a un Evento Hidrológico?
Colapso de la presa por sobrepaso	Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	- Operación inadecuada de reservorio durante un evento meteorológico mayor al de diseño.	75	Muy Alto	Sí Rainy Day
	Disipación de la onda de viento inadecuada	- Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico.	75	Muy Alto	Sí Rainy Day
		- Producción de olas generadas por el viento al contar con planes de operación inadecuados	75	Muy Alto	No Sunny Day
Colapso de la presa por pérdida de resistencia	Debilitamiento estructural	- Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño.	75	Muy Alto	No Sunny Day

CAPÍTULO V: RESULTADOS

La presente tesis propone una metodología para el análisis y determinación de escenarios de falla en depósitos de relaves bajo enfoques de riesgo en el Perú, a raíz de los eventos históricos de roturas de presas de relaves que sucedieron en el Perú y en el mundo.

La metodología presentada se realiza de modo secuencial y consta de una serie de procesos para lograr el objetivo principal. La metodología planteada considera la recopilación y revisión de la información disponible en el depósito de evaluación, además considera el análisis de peligros, el cual es una parte fundamental de la metodología. Aquí se identifica los peligros a los que se encuentra expuesto el depósito de evaluación. Asimismo, se analiza cuáles de estos peligros desencadenaran en mecanismos de fallas creíbles, en otras palabras, los mecanismos de falla técnicamente factibles donde se considere la configuración del depósito y su entorno.

La metodología evalúa el análisis de riesgos de estos mecanismos de falla creíbles identificados, para ello hace uso de una herramienta de riesgos (FMEA), donde se determinan los índices de severidad (consecuencias), índice de ocurrencia (probabilidad de ocurrencia) e índice de detección (controles de detección). Estos índices han sido determinados considerando criterios de evaluación presentados en el Decreto Supremo N°023-2017-EM, manuales para la determinación de riesgos (CENEPRED, 2015), guías de gestión de riesgo, guías de seguridad de presas (CDA, 2014), estándar global de gestión de relaves para la industria minera (ICMM, 2020), entre otros.

Una vez determinado los índices para cada mecanismo de falla, estos deberán de ser clasificados en niveles de riesgos y niveles prioritarios de riesgo que van desde Bajo hasta Muy Alto. Los mecanismos de falla que obtengan los mayores niveles prioritarios de riesgo serán considerados como los escenarios de falla del depósito de relaves en evaluación, estos serán asociados a escenarios hidrológicos, es decir si estos mecanismos de falla se tratan de escenarios *Sunny Day* o *Rainy Day*.

Para una mejor comprensión y entendimiento de la metodología, se realizó la aplicación al depósito de relaves Quiulacocha. Este depósito de relaves, tal como se describe en el **ítem 4.1**, es un depósito de relaves que ha sido declarado en riesgo en el 2021 por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), debido al elevado nivel de la laguna de aguas ácidas que sobrenada el depósito. El INDECI presentó un reporte de Peligro Inminente por el posible desembalse de la relavera Quiulacocha (ver **Anexo VII**), en este reporte solo se evalúa el peligro relacionado con el nivel de la laguna sobrenadante y no considera otros peligros que puedan desencadenar la falla del depósito de relaves Quiulacocha. La aplicación de la metodología propuesta a este depósito de relaves consideró todos los posibles peligros que podrían desencadenar la falla y su respectivo análisis de riesgos.

Para el análisis del depósito de relaves Quiulacocha, se realizó la identificación de peligros externos e internos, estos se agruparon en 7 categorías (meteorológico, sísmicos, entorno del depósito, barrera de relaves o dique, infraestructuras hidráulicas, mecánicos /eléctricos y planes de operación).

Para la identificación de mecanismos de falla creíble se consideró la matriz de evaluación presentada en el Taller de revisión de seguridad de presas de la CDA, donde se presenta una matriz de peligros vs modos de falla la cual ha sido completada, esta matriz considera las 7 categorías de peligros identificados y 14 características básicas de mecanismos de falla, pudiendo tener hasta 98 posibles eventos que desencadenen la falla. De esta evaluación se han identificado alrededor de 18 escenarios posibles de evaluación que relacionan los peligros y los mecanismos de falla creíbles (ver **ítem 4.4**).

Para el análisis de riesgos se consideraron los 18 escenarios que desencadenan la falla del depósito de relaves y 2 escenarios relacionados a los mecanismos de falla no creíbles de la matriz de modos de falla presentada (no es necesario realizar el análisis de riesgo a los mecanismos de falla no creíbles; sin embargo, al tratarse de una exemplificación como parte de la metodología planteada, estos han sido considerados), es por ello que la evaluación de riesgos consideró 20 posibles escenarios.

El análisis de riesgos implicó la utilización de la herramienta FMEA, donde se determinaron los índices de severidad, ocurrencia y detección como se detallan en el **ítem 4.5**, una vez determinado estos índices, se estableció los valores para

el riesgo y valores para los niveles prioritarios de riesgo según las matrices mostradas en el **ítem 3.5**, de los resultados de este análisis se puede comentar que:

- De los 20 casos analizados, 18 casos están asociados a un nivel alto, 2 casos de nivel de riesgo bajo y no se han identificados riesgos clasificados en el nivel medio y muy alto. (ver Figura N° 5.1a)
- Respecto a los niveles prioritarios de riesgo 4 casos tienen un nivel prioritario de riesgo Muy Alto, 14 casos de nivel prioritario Alto, 0 (cero) casos de nivel prioritario Medio y 2 casos en el nivel prioritario Bajo, esta distribución de niveles se muestra en la Figura N° 5.1. b.

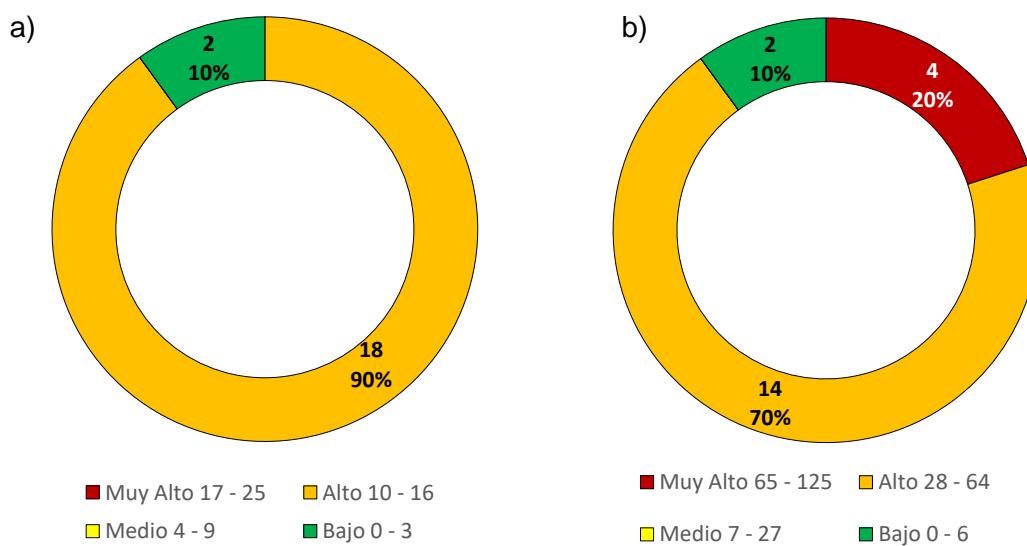


Figura N° 5.1. Distribución de niveles de riesgo y niveles de riesgo prioritario

Finalmente, los escenarios de falla seleccionados para el depósito de relaves Quiulacocha son los cuatro (04) escenarios que cuentan con valores prioritarios de riesgo muy altos, estos han sido asociados a escenarios hidrológicos y se detallan a continuación.

Escenario Sunny Day

- Colapso de la presa por sobrepaso debido a la producción de olas generadas por el viento cuando se cuente con planes de operación inadecuados.

- Colapso de la presa Quiulacocha por pérdida de resistencia debido a la ocurrencia de un evento sísmico mayor al de diseño.

Escenario Rainy Day

- Colapso de la presa por sobrepaso debido a la operación inadecuada del reservorio (laguna sobrenadante) durante la ocurrencia de un evento meteorológico mayor al de diseño.
- Colapso de la presa Quiulacocha por sobrepaso debido a la operación inadecuada del reservorio (laguna sobrenadante) durante la ocurrencia de un evento meteorológico mayor al de diseño.

Tal como se describe anteriormente, la metodología planteada fue aplicada al depósito de relaves Quiulacocha y ayudó a determinar los escenarios de falla de este depósito de relaves, cumpliéndose así los objetivos planteados en la presente tesis.

CONCLUSIONES

Al realizar un trabajo de investigación es trascendental conocer y definir la metodología a utilizar para desarrollo del mismo, es importante definir esto ya que permitirá una correcta obtención de datos para una eficiente salida de resultados.

En la presente tesis se ha propuesto una metodología para el análisis y determinación de escenarios de falla en depósitos de relaves bajo enfoques de riesgo. Esta metodología debe ser aplicada como parte de la gestión integral de riesgos en un depósito de relaves, donde se realizan los análisis de roturas de presas para determinar las posibles consecuencias de falla, con dicha evaluación es posible determinar la clasificación de presas e implementar manuales de operación (OMS), planes de respuesta ante emergencias (ERP) y planes de preparación ante emergencias (EPP).

La metodología planteada es de carácter secuencial (continuo) y consta de seis (06) procesos principales, dentro de los cuales se considera la recopilación y revisión de la información disponible en el depósito de relaves en estudio, la identificación y/o mapeo de peligros, identificación de modos de fallas, identificación de fallas creíbles (evaluación de la matriz de modos de falla vs peligros) y la evaluación de riesgos haciendo uso de la herramienta FMEA. Como parte de esta evaluación de riesgos, se determinan los índices de severidad, ocurrencia y detección, de esa manera se pueden clasificar los mecanismos de falla en niveles de riesgos y niveles prioritarios de riesgo. Los mecanismos de falla que obtengan los mayores niveles prioritarios de riesgo serán considerados los escenarios de falla del depósito de relaves en estudio. Por último, estos escenarios deben ser asociados a escenarios de falla hidrológicos, es decir si este mecanismo considera un escenario de falla en condiciones hidrológicas normales (no ocurre durante una tormenta o inundación) será considerado un escenario *Sunny Day*, caso contrario será considerado como escenario *Rainy Day*.

La metodología planteada puede aplicarse durante todos los ciclos de vida en los depósitos de relaves, es decir, en la fase de planificación y diseño, la fase de construcción y operación y durante el cierre y post- cierre.

Uno de los aspectos relevantes e importantes en la aplicación de la metodología viene a estar dado por la recopilación y revisión de la información disponible del depósito de relaves que se requiere analizar, es por ello que muchas veces existen

depósitos en los cuales no cuentan con la información necesaria para estos tipos de análisis, es ahí donde se tiene que realizar estimaciones cualitativas con el fin de determinar los parámetros que se requieran, por ejemplo, si se cuenta con un estudio hidrológico donde no se ha determinado la precipitación máxima probable (PMP) se podrá considerar valido la determinación de este parámetro considerando la data histórica de registros disponibles, otro caso similar podría pasar cuando no se cuenta con la estimación del MCE (*Maximum Credible Earthquake*), el cual también deberá de ser determinado, puesto que en la mayoría de estándares internacionales son requeridos como parte de los criterios de diseño.

En la presente tesis se ha considerado la aplicación de la metodología al depósito de relaves Quiulacocha, puesto que este representa un peligro para las comunidades Quiulacocha, Yurajhuana y Rancas (ubicados en el distrito de Simón Bolívar, región Pasco). Esta relavera, en el 2021 contó con reportes de peligro inminente presentados por el INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil), advirtiendo el probable desembalse de la relavera Quiulacocha producto de las lluvias extraordinarias presentadas en la zona, logrando que el nivel de agua se incremente hasta 0.5 m por debajo del nivel de la corona del dique principal. Sin embargo, dicho reporte, solo considera el peligro relacionado a la laguna sobrenadante y no un análisis completo de peligros que puedan desencadenar una falla.

Como parte de la identificación de mecanismos de falla creíble se consideró la matriz de evaluación presentada en el Taller de revisión de seguridad de presas de la CDA, esta matriz considera las 7 categorías de peligros identificados y 14 características básicas de mecanismos de falla, donde se pueden identificar hasta 98 posibles eventos que desencadenen la falla. De esta evaluación, para el depósito de relaves Quiulacocha, se han identificado alrededor de 18 escenarios posibles de evaluación que relacionan los peligros y los mecanismos de falla creíbles.

El análisis de riesgos implicó la utilización de la herramienta FMEA considerando 20 escenarios posibles (18 escenarios relacionados a mecanismos de falla creíbles y 2 escenarios relacionados a mecanismos de fallas no creíbles). De los 20 casos analizados, cuatro (04) escenarios se clasificaron en el nivel prioritario

de riesgo Muy Alto, 14 casos de nivel prioritario Alto, cero (0) casos de nivel prioritario Medio y 2 casos en el nivel prioritario Bajo.

En el análisis realizado al depósito de relaves Quiulacocha se determinaron y/o seleccionaron 4 escenarios de falla, 3 de los cuales están relacionadas con el modo de falla global por sobrepaso y 1 asociado al modo de falla global por pérdida de resistencia, asimismo de esos 4 escenarios, 2 están relacionados a eventos hidrológicos de condiciones normales (*Sunny Day*) y los otros 2 relacionados a *Rainy Day*.

Los escenarios de falla seleccionados para el depósito de relaves Quiulacocha son :

- Escenario Sunny Day: Colapso de la presa por sobrepaso debido a la producción de olas generadas por el viento cuando se cuente con planes de operación inadecuados
- Escenario Sunny Day: Colapso de la presa Quiulacocha por pérdida de resistencia debido a la ocurrencia de un evento sísmico mayor al de diseño
- Escenario Rainy Day: Colapso de la presa por sobrepaso debido a la operación inadecuada del reservorio (laguna sobrenadante) durante la ocurrencia de un evento meteorológico mayor al de diseño.
- Escenario Rainy Day: Colapso de la presa Quiulacocha por sobrepaso debido a la operación inadecuada del reservorio (laguna sobrenadante) durante la ocurrencia de un evento meteorológico mayor al de diseño.

Respecto al análisis de modos de falla en el depósito de relaves Quiulacocha se identificaron 18 mecanismos de falla creíbles que se encuentran relacionados a los peligros identificados, esto se debe principalmente a que se trata de un pasivo ambiental minero abandonado, este depósito de relaves finalizó sus operaciones antes del año 2000, y se conoce que durante su diseño, construcción y operación no ha sido adaptado a estándares internacionales, por ende no cuenta con una revisión de seguridad de presas ni análisis de riesgos. En la actualidad en el Perú existen depósitos de relaves que consideran los criterios de diseño recomendados por las guías y estándares de gestión de relaves internacionales, es posible que cuando se analicen dichos depósitos considerando la metodología planteada, se detecten pocos mecanismos de fallas creíbles, esto básicamente sucede porque

estos depósitos de relaves han implementado estrategias para eliminar, controlar y/o reducir los riesgos.

En la presente tesis, como análisis complementario, se realizó la actualización de la base de datos de las roturas de presas alrededor del mundo considerando el tipo de presa, la altura de presa, el modo de falla, entre otras variables. Esta actualización de estadísticas de fallas considera eventos ocurridos desde el año 1815 hasta marzo del 2023 (ver Anexo I). Según la actualización de estadísticas se tiene lo siguiente:

- Se identificaron total de 421 eventos que ocurrieron cronológicamente en diferentes regiones y países alrededor del mundo, la mayoría de estos eventos ocurrieron en Norte América (39 %), seguido de América del Sur (20 %), Asia (15%), Europa (15%), África (5%), Oceanía (4%) y Otros (2%). En América del sur se presentaron alrededor de 86 casos y los países como Chile, Perú y Brasil son los que más casos de fallas reportaron, ascendiendo a 42, 20 y 18 casos, respectivamente.
- Los modos de falla más comunes presentados en las fallas de presas de relaves es el sobre paso u overtopping (19%), inestabilidad de taludes (17%), inestabilidad sísmica (13%), deficiencias estructurales (10%), Seepage (9%) , Foundation (7%), erosión externa (3%) y subsidencia de Mina (1%).

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar la metodología propuesta en la presente tesis como parte del sistema de gestión integral de riesgos de un depósito de relaves donde se realice el análisis y evaluación de rotura de presas de relaves, determinación de clasificación de presas de relaves, planes de respuesta a emergencias y planes de preparación ante emergencia.

Para la aplicación de criterios de severidad se pueden considerar parámetros de evaluación según distintas guías internacionales (CDA, ANCOLD, ICMM, etc.), estas son consideradas válidas y pueden ser implementadas en la metodología planteada.

La herramienta de riesgo utilizada como soporte de análisis en la presente tesis corresponde a la FMEA, sin embargo, esta metodología también puede adaptarse fácilmente a otras herramientas de gestión de riesgos como lo son los árboles de falla, análisis Bowtie, entre otros.

Los estudios relacionados al análisis de riesgos y roturas de presas de relaves no solamente implican conocer los escenarios y modos de fallas, estos tipos de estudios también involucran el análisis de otras variables, entre ellas la determinación de volúmenes de falla y geometrías de brechas, es por ello que se recomienda plantear metodologías que faciliten el entendimiento y la determinación de dichos parámetros.

En la actualidad en el Perú el MINEM (2020) ha identificado 7668 pasivos ambientales (residuos mineros abandonados), de los cuales 315 son depósitos de relaves, estos depósitos en su mayoría no han sido diseñados o construidos considerando los estándares internacionales, por lo que al igual que el depósito de relaves Quiulacocha, representan un riesgo para el medio ambiente y/o poblaciones cercanas. Se recomienda identificarlas y realizar el análisis de riesgos y roturas de presas considerando los posibles modos de falla creíbles determinadas con la metodología propuesta, estos análisis pueden ser parte de tesis de grado.

Al igual que en el artículo 400 del D.S. N°024-2016-EM, se menciona que los titulares mineros deben de presentar a la autoridad competente cada dos (02 año), un estudio de estabilidad física de los depósitos de relaves y otros componentes.

Se debe implementar una norma donde se solicite a las entidades mineras, la gestión integral de riesgos de los depósitos de relaves, la cual debe ser actualizada periódicamente durante todas las etapas o ciclos de vida de los depósitos de relaves. La metodología propuesta puede ser implementada como parte del análisis que se requiere en estos tipos de estudios.

Como parte de la buena práctica en estos tipos de estudios, los cuales se encuentran relacionados a las fallas de presas de relaves, se recomienda revisar y actualizar las estadísticas existentes de roturas de presas acontecidas alrededor del mundo teniendo como base de datos la actualización hasta marzo del 2023 presentada en el Anexo I. A partir de ello, se pueden plantear nuevas metodologías que ayuden a determinar geometrías de brecha, volúmenes de falla, tiempos de falla y otros parámetros importantes para realizar un análisis de roturas de presas y un adecuado análisis de riesgos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Activos Mineros SAC. (2023). *Reportes de estados situacionales de PAM's*. Página web AMSAC. <https://www.amsac.pe/publicaciones/boletin-mensual-amsac-informa/>.
- Amec Foster Wheeler Peru S.A. (2016). *Informe de Análisis de Riesgos. Doc116. Ingeniería de Registro de la Presas de Relaves Toromocha*.
- Anddes. (2020, 20 de junio). *Revisión de seguridad de presas de relaves según guía de la CDA* [video]. Youtube. <https://lc.cx/vh62N8>
- Asesorías Técnicas Geológicas ATG Ltda. (2021). *Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos relacionados con Presas de Relaves*. <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2776>
- Australian National Committee on Large Dams. (2012). *Guidelines on the Consequence Categories for Dams*. <https://ancold.org.au/product/guidelines-on-the-consequence-categories-for-dams-october-2012/>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3902>.
- Bowker, L. y Chambers, D. (2016, del 7 al 9 de setiembre). Root Causes of Tailings Dam Overtopping: The Economics of Risk & Consequence [paper], *2nd International Seminar on Dam Protection against Overtopping*. Colorado, USA. <https://lc.cx/qZYLuH>
- Canadian Dam Association. (2013). *Dam Safety Guidelines*. <https://cda.ca/publications/cda-guidance-documents/dam-safety-publications>
- Canadian Dam Association. (2014). *Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams*. <https://cda.ca/publications/cda-guidance-documents>
- Canadian Dam Association. (2016a). *Dam Safety Review Workshop*. <https://lc.cx/EMwI1W>

Canadian Dam Association. (2016b). *Technical Bulletin: Dam Safety Reviews*.

<https://cda.ca/publications/cda-guidance-documents>

Canadian Dam Association. (2021). *Technical Bulletin: Tailings Dam Breach*

Analysis. <https://cda.ca/publications/cda-guidance-documents/tailings-dam-breach-analysis>

Castillo, L. y Castillo, I. (2019). *Generación de mapas de peligro producido por la simulación del vertido de relaves de la rotura de la presa N°4 en el distrito de Carmen de Atrato en el departamento de Chocó - Colombia*. [Tesis de título profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/652388>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2015). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales - 2da Versión*.

<https://www.gob.pe/institucion/cenepred/informes-publicaciones/1867442-manual-para-la-evaluacion-de-riesgos-por-fenomenos-naturales-v-2>

Centro para la Ciencia en la Participación Pública. (2022). *Tailings Dam Failures, 1915-2016*. <http://www.csp2.org/tsf-failures-from-1915>

Comité Nacional Español de Grandes Presas. (2013). *Guía Técnica de Explotación de Presas y Embalses - Tomo 1 - Análisis de Riesgos Aplicado a la Gestión de Seguridad de Presas y Embalses*.

<https://www.spancold.org/producto/guia-tecnica-de-seguridad-de-presas-no-8-explotacion-de-presas-y-embalses-tomo-1-analisis-de-riesgos-aplicado-a-la-gestion-de-seguridad-de-presas-y-embalses/>

Concha, P. y Lall, U., (2018). Tailings Dams Failures: Updated Statistical Model for Discharge Volume and Runout. *Environments*, 5 (2), 28.

<https://doi.org/10.3390/environments5020028>

Consorcio Yanamate. (2023a). *Estudio Topográfico y Batimétrico. Elaboración del Estudio de Plan de Cierre del Depósito de Relaves Quiulacocha*.

Consorcio Yanamate. (2023b). *Estudio Hidrológico. Elaboración del Estudio de Plan de Cierre del Depósito de Relaves Quiulacocha*.

- De la Cruz, S. (2017). *Evaluación del Fallo de Presas de Relaves con el Método del Árbol de Fallos*. [Proyecto Fin de Master, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. Madrid, España. <https://oa.upm.es/46944/>
- Dundas, B. Campbell, A. Mitchelmore, P. y Kilgour, D. (2021, del 25 al 28 de octubre). Development and Application of a Vulnerability based Risk Assessment Tool for Dam Safety [Paper]. *Annual Conference CDA 2021*, Canada.
- Engineers & Environmental Perú S.A. (2023a). *Estudio Geológico. Elaboración del Estudio de Plan de Cierre del Depósito de Relaves Quiulacocha*.
- Engineers & Environmental Perú S.A. (2023b). *Estudio Geotécnico. Elaboración del Estudio de Plan de Cierre del D.R. Quiulacocha*.
- Geotechnical & Environmental Laboratory S.A. (2023a). *Estudio Hidrogeológico. Elaboración del Estudio de Plan de Cierre del Depósito de Relaves Quiulacocha*.
- Geotechnical & Environmental Laboratory S.A. (2023b). *Estudio Geoquímico. Elaboración del Estudio de Plan de Cierre del Depósito de Relaves Quiulacocha*.
- Groeneveld, J. Acharya, M. Rutherford, J. Donnelly, R. y Woods, C. (2021, 2021, del 25 al 28 de octubre). Application of a Hybrid PFMEA Approach: A tool For Risk Management. *Annual Conference CDA 2021*, Canada.
- Huamán, M. (2020). *Consideraciones para el análisis de rotura de presas de relaves*. <https://lc.cx/EFerc1>
- International Commission on Large Dams. (1982). *Manual on Tailings Dams and Dumps - Bulletin 45*.
- International Commission on Large Dams. (2001). *Tailings Dams – Risk of Dangerous Occurrences: Lessons Learnt from Practical Experiences - Bulletin 121*.
- International Commission on Large Dams. (2011). *Dam Safety Management: Operational Phase of the Dam Life Cycle - Bulletin 154*.

- International Council on Mining and Metals. (2020). *Global Industry Standard on Tailings Management*. <https://globaltailingsreview.org/global-industry-standard/>
- Kantan. (2023). *Cinco herramientas útiles para iniciar la Gestión de Riesgos en ISO 9001*. <https://www.kantansoftware.com/blog/5-herramientas-para-comenzar-con-la-gestion-de-riesgos-en-iso-9001/>.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza*. Quebecor World Peru. <https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=30515>
- López, L. Román, C. Ferrer, A. y Serrano C. (2023, del 14 al 16 de junio). Integrity Management System Model Implementation for Tailings Facilities. *Tailings 2023*, Santiago, Chile.
- Mantillan, H. (2023, 30 de marzo). *Análisis de riesgo en Ingeniería geotécnica orientado a depósitos de Relaves* [webinar]. <https://cdlima.org.pe/webinar-metodologias-de-analisis-de-riesgo-en-ingenieria-geotecnica-orientada-a-depositos-de-relave-fmea-pfma-y-sqra-2/>
- Minerals Council of Australia. (2022). *Risk Management: Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry*. Australian Government. <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-04/lpsdp-risk-management-handbook-english.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2014). Decreto Supremo N° 040-2014-EM, por el cual se aprueba el Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero. Diario Oficial El Peruano del 12 de noviembre de 2014. <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/4743960-040-2014-em>
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). Decreto Supremo N° 024-2016-EM, por el cual aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Diario Oficial El Peruano del 28 de julio de 2016. .
<https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/741887-024-2016-em>

Ministerio de Energía y Minas. (2017). Decreto Supremo N° 023-2017-EM, por el cual modifican diversos artículos y anexos del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Diario Oficial El Peruano del 18 de agosto de 2017. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1555418-2>

Ministerio de Energía y Minas. (2022). Resolución Ministerial N° 335-2022-MINEM/DM del 07 de setiembre de 2022. Por la cual aprueban la actualización del inventario de Pasivos Ambientales Mineros aprobado mediante Resolución Ministerial N°290-2006-MEM/DM y sus actualizaciones.

<https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/3456690-335-2022-minem-dm>

Ministerio del Ambiente. (2010). Decreto Supremo N°010-2010-MINAM, por el cual se aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicos. Diario Oficial El Peruano del 21 de agosto de 2010. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>

Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 04-2017-MINAM, por el cual aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Diario Oficial El Peruano del 07 de junio de 2017.

<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>

Oldecop, L. y Rodriguez, R. (2007). Mecanismos de Fallas de las Presas de Residuos Mineros. *Revista Digital del Cedex*, (148),181-189.

<https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2326>

Ordoñez, A. (1984). *Canchas de relaves de concentradoras mineras. Análisis de estabilidad de presas*.

Osinergmin. (2020, 14 de octubre). Supervisión de la gestión y operación de los depósitos de relaves [Presentación de diapositivas]. 1er Congreso de Competitividad Minera y Sostenibilidad, Lima, Perú. <https://lc.cx/a1Fq8R>

Oyola, V. (2016). *Propuesta para modelación numérica de rotura de una presa de tierra de contención de relaves convencionales*. [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional de Ingeniería.

- Quelopana, H. (2019, 10 de julio). Released Volume Estimation for Dam Break Analysis. Tailings 2019 [Paper]. *6th International Seminar on Tailings Management*, Santiago, Chile.
<https://www.researchgate.net/publication/334520288 Released Volume Estimation for Dam Break Analysis>
- Rana, N., Ghahramani, N., Evans, S., McDougall, S., Small, A. y Take, W. (2021). Catastrophic mass flows resulting from tailings impoundment failures. *Engineering Geology*, 292 (106262), 1-20.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106262>
- Rico, M. Benito, G. y Diez-Herrero, A. (2008). Floods from Tailings Dam Failures, *Journal of Hazard Management*, 154 (1-3), 79-87. .
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.110>
- Rodríguez, R. y García, A. (Eds.). (2006). *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente*. Instituto Geológico y Minero de España.
<https://lc.cx/bHJv5m>
- Rudolph, T. y Coldewey, W. (2008). *Implications of Earthquakes on the Stability of Tailings Dams*. Institute for Geology-Paleontology - University of Munster.
- Suarez, G. (2016). *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales para Gestión de Oportunidades en la ISO 9001:2015*.
- TailPro Consulting. (s.f.). *Conventional Impoundment Storage - The Current Techniques*. <https://tailings.info/disposal/conventional.htm>.
- UNEP. (1996). *Environmental and Safety Incidents Concerning Tailings Dams at Mines: Results of a Survey for the Years 1980–1996*.
- USCOLD. (1994). *Tailings Dam Incidents. U.S. Committee on Large Dams*.
- World Information Service on Energy. (2022). *Chronology of major tailings dam failures - Uranium Project*. <http://www.wise-uranium.org/mdaf.html>.
- ZER Geosystem Perú S.A.C. (2021). *Estudio de Peligro Sísmico para la presa Ocroyoc*.

ANEXOS

Anexo I -	Actualización de estadísticas de Fallas en Depósitos de Relaves Alrededor del Mundo	169
Anexo II -	Matriz de Modos de Falla vs Peligros - Preguntas asociadas a los peligros y Modos de Falla	185
Anexo III -	Cálculos complementarios en el depósito de Relaves Quiulacocha.	192
Anexo IV -	Respuestas asociadas a los Peligros y Mecanismos de Falla en el análisis del depósito de Relaves Quiulacocha.	211
Anexo V -	Matriz de Riesgos FMEA del Depósito de Relaves Quiulacocha.	222
Anexo VI -	Consideraciones para la estimación de los Modelamientos Numéricos preliminares evaluados.	224
Anexo VII -	Reporte de Peligro Inminente en el Depósito de Relaves Quiulacocha	233
Anexo VIII -	Mapas	243

ANEXO I:

Actualización de estadísticas de Fallas en Depósitos de Relaves Alrededor del Mundo.

ACTUALIZACIÓN DE ESTADÍSTICAS DE FALLAS EN DEPÓSITOS DE RELAVES ALREDEDOR DEL MUNDO

LEYENDA

CÓDIGO	CAUSAS DE FALLA
SI	Slope instability - Static Failure / Inestabilidad de Taludes – Falla Estática
SE	Seepage - Seepage and Internal Erosion / Filtración – Erosión Interna
FN	Foundation - Structural and Foundation Conditions, Foundations with Insufficient investigations / Condiciones Estructurales y de Cimentación
OT	Overtopping / Sobrepasso
ST	Structural - Structural inadequacies, Inadequate or Failed Decants / Deficiencias Estructurales – Decantaciones Fallidas o Inadecuadas
EQ	Earthquake - Seismic Instability / Inestabilidad Sísmica
MS	Mine Subsidence / Subsistencia de Mina
ER	Erosion - External Erosion / Erosión Externa
U	Unknown / Desconocido

CÓDIGO	TIPO DE PRESA
US	Upstream / Aguas Arriba
DS	Downstream / Aguas Abajo
CL	Centerline / CenterLine
NR	Not reported / No Reporta

CÓDIGO	TIPO DE MATERIAL
T	Tailings / Relaves
CST	Cycloned / Cicloneado
SAND	Sand Tailings / Relaves de Arena
MW	Mine waste / Residuos Mineros
E	Earthfill / Relleno de Tierra
R	Rockfill / Enrocado

TABLA 1. INVENTARIO DE FALLAS DE DEPÓSITOS DE RELAVES - ACTUALIZADO HASTA MARZO 2023

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
1	Kearl oil sands mine, Fort Chipewyan, Alberta, Canada	3	Bitumen	-	-	-	OT	2023	31/01/2023	Canada / North America	WISE
2	Williamson Mine, Mwadui Lohumbo, Kishapu District, Shinyanga Province, Tanzania (Peta Diamonds-75% and the Government of Tanzania-25%)	1	Diamonds	Modified CL	Sand	26	SI	2022	7/11/2022	Tanzania / Africa	WISE, AGU Blog, Sharecast News, CoE-Tailings-Safety-Disclosure-Response-Peta-Diamonds-All-Mines-June-2020
3	Jagersfontein, South Africa (De Beers, a unit of Anglo American)	1	Diamonds	-	-	-	ST	2022	11/09/2022	South Africa / Africa	WISE, Preliminary Survey Report for Jagersfontein, Sam Rivet, PhotoSat Information Ltd, 20Jan23
4	Agua Dulce, Potosí, Bolivia (Federación Departamental de Cooperativas Mineras de Potosí (Fedecomín))	3	Ag, Zn	-	-	-	ST	2022	23/07/2022	Bolivia / South America	WISE
5	Kearl oil sands mine, Fort Chipewyan, Alberta, Canada	4	bitumen	-	-	-	SE	2022	1/05/2022	Canada / North America	WISE
6	Shanxi Daoer Aluminum Co, Wenquan Township Jiaokou County, Shanxi Province, China	3	Al	-	-	-	ST	2022	27/03/2022	China / Asia	WISE, https://blogs.agu.org/landslideblog/2022/04/06/wenquan-township-tailings-1/
7	Thelkoloi, in Odisha, India (JSW Bhushan Power and Steel Limited)	3	Fe	-	-	-	U	2022	20/01/2022	India / Asia	WISE, AGU Blog,
8	Pau Branco mine, Quadrilátero Ferrífero region, Brazil (Vallourec)	2	Fe	-	-	-	OT	2022	8/01/2022	Brazil / South America	WISE, https://blogs.agu.org/landslideblog/2022/01/11/pau-branco-1/ , https://www.earthisland.org/journal/index.php/articles/entry/an-unfolding-disaster-in-brazil/
9	MMK Chrome smelter, (MMK - Metallurgy Industry Trade and Port Management Inc), Toroslar district of Mersin, Turkey	3	Cr	-	-	-	U	2022	12/01/2022	Turkey / Asia	https://gazetesokak.com/toroslarda-cevre-felaketi-yasandi-video/
10	QMM Mandena Mine (QIT Madagascar Minerals / Rio Tinto)	3	Ti	-	-	-	OT	2022	17/02/2022	Madagascar / Africa	https://theecologist.org/2022/mar/25/dead-fish-found-mine-dumps-water
11	Zululand Anthracite Colliery (ZAC) coal mine, KwaZulu-Natal, South Africa	3	Coal	-	-	-	ST	2021	24/12/2021	South Africa / Africa	WISE, https://www.dailymaverick.co.za/article/2022-01-11-river-turns-black-after-coal-mine-dam-collapse-next-to-rural-communities-and-hluhluwe-imfolozi-game-reserve/
12	San Antonio de María mine, Ananea Puno Minería, La Rinconada, Ananea district, Peru	2	Au	-	-	-	OT	2021	26/11/2021	Peru / South America	WISE, AGU Blog, and https://larepublica.pe/sociedad/2021/11/27/puno-relaves-mineros-inunden-calles-de-ananea-tras-falla-en-infraestructura-vial-lrsd/
13	Nesko Madencilik AŞ (Yıldızlar Holdings) Şebinkarahisar district, Giresun Province, Turkey	3	Cu, Pb, Zn	-	-	-	SI	2021	18/11/2021	Turkey / Asia	WISE, https://www.duwarenglish.com/tailings-pond-breach-in-turkeys-north-creates-environmental-disaster-news-59786
14	Catoca Mine, Angola (Angolan state diamond company Endiama-41% and Russia's Alrosa-41%)	1	Diamonds	-	-	-	OT	2021	15/07/2021	Angola / Africa	WISE, https://theafricanmirror.africa/news/drc-wants-angola-to-pay-for-deaths/

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
15	Rio Panusco SA de CV, municipality of Concordia, Sinaloa State, Mexico	3	Ag, Cu, Pb, Zn	-	-	-	OT	2021	13/10/2021	Mexico / North America	https://sonplayas.com/comunidad/denuncian-derrame-de-jales-mineros-en-afluentes-del-rio-panuco-concordia/
16	Aurizona mine, Maranhão, Brazil (Equinox Gold)	4	Au	-	-	-	OT	2021	25/03/2021	Brazil / South America	https://yubanet.com/world/no-relief-for-4000-people-affected-by-brazil-mine-spill/ , https://vision6.excelplas.com/ch/38100/6w3zs/2962306/Bt4wuxrf1AvFKR3xHAPrmRnz7Bf0u4GWgdGNndo6.pdf
17	San José de Los Manzanos, Canelas, Durango, Mexico (Exportaciones de Minerales de Topia SA - EMITSA)	3	Pb, Zn	-	-	-	OT	2020	1/05/2020	Mexico / North America	WISE
18	Yichun Luming Mining, Heilongjiang Province, China (China Railway Resources Group)	1	Mo	US	-	-	ST	2020	28/03/2020	China / Asia	WISE, Rueters, AGU, Decipher
19	Hpakant, Kachin state, Myanmar	4	Jade	-	-	-	U	2020	2/07/2020	Myanmar / Asia	WISE, K2fly 2021
20	Sasa Tailings Storage Facility 4, central Macedonia (Central Asia Metals)	3	Pb, Zn, Ag	-	-	-	ST	2020	14/09/2020	Macedonia / Europe	https://polaris.brighterir.com/public/central_asia_metals_plc/news/rns/story/x5og98r , https://polaris.brighterir.com/public/central_asia_metals_plc/news/rns/story/w68zpkr
21	Levikhinsky mine, Sverdlovsk Oblast, western Siberia	4	Cu	-	-	-	U	2020	13/07/2020	Russian / Europe	https://www.e1.ru/news/spool/news_id-69366844.html ; https://www.reuters.com/article/us-russia-mine-acid-spillstreams-of-acid-from-abandoned-russian-mine-burn-mountains-yellow-and-red-idUSKCN24O1YM
22	Sasan Ultra Mega Power Project, Harrahva in Singrauli district of Madhya Pradesh, India (Reliance Company)	1	Ash	-	-	-	U	2020	10/04/2020	India / Asia	https://sandrp.in/2020/04/12/singrauli-fly-ash-dam-breach-who-regulates-these-dams-in-india/ , Rana
23	Ponce Enríquez, Azuay Province, Ecuador (Austro Gold)	3	Au	-	-	-	ST	2020	2/07/2020	Ecuador / South America	Reuters
24	La Rinconada, Ananea, San Antonio de Putina province, Puno, Peru	3	gold	-	-	-	U	2019	13/11/2019	Peru / South America	WISE
25	Muri, Jharkhand, India (Hindalco Industries Limited)	3	Al	-	-	-	ST	2019	9/04/2019	India / Asia	WISE, AGU, Rana
26	Brumadinho, Mina Córrego do Feijão, Minas Gerais, Brazil (Vale)	1	Fe	US	T	87	SI	2019	25/01/2019	Brazil / South America	WISE, Quelopana, 2019, www.worldminetailingsfailures.org
27	Nossa Senhora do Livramento, Mato Grosso, Brazil (VM Mineração e Construção, Cuiabá)	3	Au	-	-	15	U	2019	1/10/2019	Brazil / South America	WISE, AGU, RISKOPE
28	Cobriza mine, San Pedro de Coris district, Churcampa province, Huancavelica region, Peru (Doe Run Perú S.R.L.)	3	Cu	US	-	-	OT	2019	10/07/2019	Peru / South America	WISE, AGU, Rana
29	Hpakant, Kachin state, Myanmar (Shwe Nagar Koe Kaung Gems Co. Ltd., Myanmar Thura Gems Co. Ltd.)	4	Jade	-	-	-	U	2019	22/04/2019	Myanmar / Asia	WISE
30	Machadinho d'Oeste, Oriente Novo, Rondônia, Brazil (Metalmig Mineração Indústria e Comércio S/A)	2	Sn	-	-	-	U	2019	29/03/2019	Brazil / South America	WISE
31	Cieneguita mine, Urique municipality, Chihuahua, Mexico (Minera Rio Tinto and Pan American Goldfields)	2	Au Ag	US	-	-	SI	2018	4/06/2018	Mexico / North America	WISE, http://www.mining.com/five-bodies-rescued-collapsed-mine-mexico/ , Rana
32	Cadia, New South Wales (Newcrest Mining)	1	Cu Au	DS / US	MW	94	FN	2018	9/03/2018	Australia / Oceania	WISE, Newcrest Release, Report on NTSF Embankment Failure, Cadia Valley Operations, for Ashurst Australia, by Independent Technical Review Board, Rana
33	Huancapatí, Recuay province, Áncash region, Peru (Compañía Minera Lincuna SA, Grupo Picasso)	3	Au, Cu	-	-	-	U	2018	3/03/2018	Peru / South America	WISE, Decipher
34	Barcarena, Pará, Brazil , Alunorte (Hydro Alu Norte/Norsk Hydro ASA)	3	Al	-	-	-	OT	2018	17/02/2018	Brazil / South America	WISE, https://news.mongabay.com/2018/02/norsk-hydro-accused-of-amazon-toxic-spill-admits-clandestine-pipeline/
35	Duke Energy, HF Lee Power Plant, Goldsboro, North Carolina	3	Ash	-	-	-	OT	2018	20/09/2018	USA / North America	https://www.wral.com/after-florence-coal-ash-sites-near-goldsboro-completely-underwater-17860975/
36	Duke Energy, L.V. Sutton Power Station, Wilmington, North Carolina.	3	Ash	-	-	-	OT	2018	20/09/2018	USA / North America	https://www.nytimes.com/2018/09/21/climate/florences-floodwaters-breach-defenses-at-power-plant-prompting-shutdown.html
37	Hpakant Jade Mines, Myanmar	4	Jade	-	-	-	U	2018	4/05/2018	Myanmar / Asia	https://www.mmtimes.com/news/death-toll-hpakant-landslide-rises-20.html
38	Hector Mine Pit Pond, MN, USA	4	Fe	-	-	17	OT	2018	24/04/2018	USA / North America	Luca Píciullo, ASDSO
39	Hpakant Jade Mines, Myanmar	4	Jade	-	-	-	U	2018	6/01/2018	Myanmar / Asia	https://www.efe.com/efe/english/portada/6-killed-in-landslide-abandoned-jade-mine-myanmar/50000260-3484590
40	Kokoya mine, Liberia (MNG Gold-Liberia)	3	Au	-	-	-	ST	2017	23/09/2017	Liberia / Africa	WISE, Liberian Observer (https://www.libieranobserver.com/news/epa-provides-updates-on-mng-gold-mine-incident/)

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
41	Mishor Rotem, Israel (Rotem Amfert Negev Ltd., Israel Chemicals (ICL))	2	P	US	-	60	SI	2017	30/06/2017	Israel / Asia	WISE, Reuters 2Jul17, Rana
42	Tonglvshan Mine, Hubei Province, China (China Daye Ltd.)	2	Cu Au Ag Fe	-	-	-	U	2017	12/03/2017	China / Asia	WISE, Rana
43	Hernic PGM Project, South Africa (Jubilee Metals Group)	3	Cr	-	MW	39	U	2017	29/12/2017	South Africa / Africa	Reuters 5Jan18
44	Vedanta Aluminium Limited Smelter Ash Pond, Jharsuguda, India	1	Al	-	-	-	U	2017	28/08/2017	India / Asia	https://www.telegraphindia.com/1170908/jsp/odisha/story_171460.jsp
45	Husab, Namibia (Swakop Uranium (Taurus Minerals))	3	U	-	-	-	OT	2017	1/05/2017	Namibia / Africa	https://www.namibian.com.na/166987/archive-read/Husab-tailings-facility-leaked-due-to-pump-failure
46	Highland Valley Copper, British Columbia, Canada (Teck Resources)	3	Cu	-	Sand	140	ER	2017	8/04/2017	Canada / North America	https://www.castanet.net/news/Kamloops/194524/225K-gallon-spill-at-mine
47	Hpakant Jade Mines, Myanmar (Jade Palace Company)	4	Jade	-	-	-	U	2016	28/12/2016	Myanmar / Asia	WISE, K2fly 2021
48	Antamok, Baguio, Philippines (Philex)	3	Au	-	-	-	ST	2016	28/10/2016	Philippines / Asia	WISE, Antamok leak under control, Baguio Midland Courier Website, 6Nov16
49	New Wales plant, Polk County, Mulberry, Florida (Mosaic Co)	4	P	-	-	-	U	2016	27/08/2016	USA / North America	WISE, WFLA.com
50	Dahegou Village, Luoyang, Henan Province, China (Luoyang Xiangjiang Wanji Aluminium Co., Ltd.)	1	Al	US	MW	45	SI	2016	8/08/2016	China / Asia	WISE, Back analyses of the August 2016 Luoyang red mud tailings facility failure, David Reid and Andy Fourie, Tailings and Mine Waste 2017 Conference, Banff, AB, 6-8Nov17
51	Ujina, Pica, Tamarugal Province, Tarapacá Region, Chile	3	copper, molybdenum	-	-	-	U	2016	4/Aug/16	Chile / South America	WISE
52	Kazzinc Mining & Metallurgical Company (Glencore) - Concentrator TSF, Ridder (once called Leningorsk), Kazakhstan	1	Pb Zn	-	-	-	ST	2016	22/05/2016	Kazakhstan / Asia	WISE, http://siberiantimes.com/ecology/others/news/n0671-stinking-poisoned-water-flows-towards-siberia-from-mining-city-ridder-in-kazakhstan/ https://earthworks.org/blog/mine_disaster_in_siberia/ https://www.glencore.com/media-and-insights/news/kazzinc-environmental-incident
53	Duke Energy Coal Ash, Goldsboro, North Carolina	3	Coal	-	-	-	OT	2016	1/10/2016	USA / North America	http://www.ecowatch.com/coal-ash-duke-energy-2053607683.html
54	Hpakant Jade Mines, Lamaungkone, Kachin state, Myanmar (Tun Tauk Zabu jade mining company)	4	Jade	-	-	-	U	2015	14/12/2015	Myanmar / Asia	WISE, K2fly 2021
55	Taishihe town, Xihe county, Longnan city, Gansu province, China	1	antimony	-	-	-	U	2015	23/11/2015	China / Asia	WISE
56	Hpakant Jade Mines, San Kat Kuu, Kachin state, Myanmar	4	Jade	-	-	-	U	2015	21/11/2015	Myanmar / Asia	WISE, https://www.rfa.org/english/news/myanmar/landslide-05042018180440.html
57	Fundao-Santarem (Germano), Minas Gerais, Brazil (Samarco = Vale & BHP)	1	Fe	US	MW	110	ST	2015	5/11/2015	Brazil / South America	WISE, Report on the Immediate Causes of the Failure of the Fundão Dam, August 25, 2016; SAMARCO Biennial (Sustainability) Report 2015-2016
58	Gold King Mine, near Silverton, Colorado	4	Au	-	N/A	-	ST	2015	5/08/2015	USA / North America	USEPA
59	Yellow Giant Mine, Banks Island, British Columbia, Canada	4	Au	-	-	-	ST	2015	25/06/2015	Canada / North America	Vancouver Sun
60	Dos Señores mine, La Concordia, Sinaloa, Mexico	2	gold, silver	-	-	-	U	2014	16/10/2014	Mexico / North America	WISE
61	Herculano Iron Mine, Itabirite, Minas Gerais, Brazil	1	Fe	-	-	61.5	U	2014	10/09/2014	Brazil / South America	WISE, Larrauri
62	Buenavista del Cobre mine, Cananea, Sonora, Mexico (Grupo Mexico)	3	Cu	-	-	-	SI	2014	7/08/2014	Mexico / North America	WISE, CDC 2017
63	Imperial Metals, Mt Polley, British Columbia, Canada	1	Cu Au	Modified CL	MW	40	FN	2014	4/08/2014	Canada / North America	WISE, Concha, Expert Panel Report
64	Santiago Apóstol mining operation, Tacobamba, Potosí, Bolivia	2	zinc, silver, lead, tin	-	-	-	U	2014	4/07/2014	Bolivia / South America	WISE
65	Stolice mine, Northwestern Serbia (Farmakom MB)	2	Sb	-	-	-	OT	2014	7/07/2014	Serbia / Europe	WISE, https://www.miningsee.eu/mine-waste-failures-and-tailing-spills-in-serbia/
66	Dan River Steam Station, North Carolina (Duke Energy)	2	Coal	-	-	12	ST	2014	2/02/2014	USA / North America	WISE, Caldwell 2014
67	Queensland Nickel, Yabulu Refinery, Townsville, Australia	3	NI	-	-	-	OT	2014	13/04/2014	Australia / Oceania	https://www.townsvillebulletin.com.au/news/qni-fined-for-tailing-dam-spill/news-story/8276196b4f8f9d7b45b6dac23cece120
68	Kajaran, Syunik Province, Armenia (Zangezur Copper Molybdenum Combine)	3	Cu Mo	-	-	-	U	2013	15/11/2013	Armenia / Asia	WISE, Green Program

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
69	Obed Mountain Coal Mine Alberta, Canada	2	Coal	-	-	-	U	2013	31/10/2013	Canada / North America	WISE; Caldwell, 2014
70	El Herrero mine, Otáez, Barrancas province, Durango state, Mexico (Grupo Minero Bacís, Durango, Mexico)	1	Au Ag	-	-	-	OT	2013	20/01/2013	Mexico / North America	WISE
71	Coalmont Energy Corporation, Basin Coal Mine	3	Coal	-	-	-	OT	2013	24/08/2013	France / Europe	https://globalnews.ca/news/805234/coalmont-villagers-fuming-over-black-river/
72	Casa Berardi Mine, La Sarre, Abitibi region, Quebec (Hecla Mining Company)	3	Au	-	-	-	OT	2013	1/05/2013	Canada / North America	Caldwell 2014
73	Gullbridge Mine, Newfoundland, Canada	2	Cu	DS	E	7	SI	2012	17/12/2012	Canada / North America	WISE, Caldwell 2013, CDC 2017, Rana
74	Sotkamo, Kainuu Province, Finland (Talvivaara)	2	Ni U	-	-	25	SE	2012	4/11/2012	Finland / Europe	WISE, Larrauri
75	Padcal No 3, Benquet Philippines (Philex)	1	Au Cu	-	-	-	OT	2012	2/08/2012	Philippines / Asia	WISE, NASSA & CCCP, Larrauri
76	Hudson Bay (HB) Mine, Salmo, British Columbia (Regional District of Central Kootenay & Teck)	3	Pb Zn	-	-	25	SE	2012	11/07/2012	Canada / North America	Nelson Star, 9Jul12, Larrauri
77	Johson Gold Mining Corporation at Barangay Bangong-Bayan	3	Au	-	-	-	ER	2012	13/04/2012	Philippines / Asia	Mambulacons Worldwide Buzz, 2012
78	Mineracao Serra Grande Tailings Dam, State of Goias, Brazil (Anglo Ashanti)	3	Au	CL	-	-	OT	2012	1/01/2012	Brazil / South America	2012 Operational Profile, Serra Grande, Brazil, AngloGold Ashanti, 13Jun13
79	Mianyang City, Songpan County, Sichuan Province, China	3	Mn	-	-	-	OT	2011	21/07/2011	China / Asia	WISE, Future Directions Intl.
80	Bloom Lake, Newfoundland, Canada (Cleveland Cliffs)	2	Fe	-	-	-	U	2011	1/05/2011	Canada / North America	WISE, Globe and Mail, December 25, 2014
81	Ray Mine, Hayden, AZ, USA (Asarco)	3	Cu	-	-	-	ST	2011	5/05/2011	USA / North America	National Response Center, Incident No. 975013
82	Kayakari, Japan	3	Au Ag	US	-	36	EQ	2011	11/03/2011	Japan / Asia	Rana
83	Ajka Alumina Plant, Kolontár, Hungary (MAL Magyar Aluminum)	1	Al	DS	Compacted Fly Ash	22	SE	2010	4/10/2010	Hungary / Europe	WISE, Kolontár Report, Zanbak 2010, Quelopana, 2019
84	Huancavelica, Peru, Unidad Minera Caudalosa Chica	2	Ag, Cu, Pb, Zn	-	-	10	SE	2010	25/06/2010	Peru / South America	WISE, Wood 2012, McLemore et al, 2014
85	Zijin Mining, Xinyi Yinyan Tin Mine, Guangdong Province, China	1	Sn	-	-	-	OT	2010	21/09/2010	China / Asia	Zijin Mining Group; Fry et al, 2012
86	Zijin Mining, Zijinshan Gold & Copper Mine, (Ting River)	4	Au Cu	-	-	-	U	2010	16/07/2010	China / Asia	Zijin Mining Group
87	Zijin Mining, Zijinshan Gold & Copper Mine, (Ting River)	3	Au Cu	-	-	-	U	2010	3/07/2010	China / Asia	Zijin Mining Group
88	Las Palmas, Pencahue, VII Region, Maule, Chile (COMINOR)	2	0	DS	CST	15	EQ	2010	27/02/2010	Chile / South America	Villavicencio, Quelopana, 2019
89	Tranque Adosado Planta Alhué, Alhué, Region Metropolitana, Chile	3	0	DS	-	15	EQ	2010	27/02/2010	Chile / South America	Villavicencio
90	Tranque Adosado Planta Alhué, Alhué, Region Metropolitana, Chile (Florida Mining)	3	0	US	-	-	EQ	2010	27/02/2010	Chile / South America	Villavicencio
91	Tranque Planta Chacón, Cachapoal, VI Region, Rancagua, Chile	3	0	-	-	-	EQ	2010	27/02/2010	Chile / South America	Villavicencio
92	Veta del Agua Tranque No. 5, Nogales, V Region, Valparaíso, Chile	3	Cu	US	CST	16	EQ	2010	27/02/2010	Chile / South America	Villavicencio, Quelopana, 2019
93	Karamken, Magadan Region, Russia (cyanide-leach processing facility of gold mines in the region)	1	Au	-	-	27	ST	2009	29/08/2009	Russian / Europe	WISE, MACE, Glotov 2018
94	Huayuan County, Xiangxi Autonomous Prefecture, Hunan Province, China	2	Mn	-	-	-	U	2009	14/05/2009	China / Asia	WISE
95	Barcarena, Pará, Brazil	3	bauxite	-	-	-	OT	2009	27/apr/09	Brazil / South America	WISE
96	Kingston fossil plant, Harriman, Tennessee, USA (TVA)	1	Coal	US	-	-	U	2008	22/12/2008	USA / North America	WISE, Rana
97	Taoshi, Linfen City, Xiangfen county, Shanxi province, China (Tahsan Mining Co.)	1	Fe	US	WR	50.7	SI	2008	8/09/2008	China / Asia	WISE, Concha Larrauri & Lall 2018
98	Ekati Mine, Northwest Territories, CA (BHP Billiton)	3	Diamonds	-	-	-	U	2008	16/05/2008	Canada / North America	Technical Report 2008-09, Independent Environmental Monitoring Agency, Yellowknife, Northwest Territories, 31Mar09
99	Shiqiaozhi, Haicheng, Liaoning, China	2	iron	-	-	-	U	2007	25/11/2007	China / Asia	WISE
100	Mineracao Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais, Brazil, Mineração (Industrias Químicas Cataguases)	1	Al	-	-	35	OT	2007	10/01/2007	Brazil / South America	WISE, Larrauri
101	Bernburg, Germany (Solvay)	2	Limestone	US	-	22	SI	2007	1/02/2007	Germany / Europe	Vanden Berghe et al 2009
102	Glebe Mines, Cavendish Mill, UK	3	F	US	E	-	OT	2007	22/01/2007	United Kingdom / Europe	HSE Report, Rana

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
103	Nchanga, Chingola, Zambia (Konkola Copper Mines - Vedanta)	4	Cu	-	-	-	U	2006	6/11/2006	Zambia / Africa	WISE
104	Miliang, Zhen'an County, Shangluo, Shaanxi Province, China	1	Au	-	-	-	ST	2006	30/04/2006	China / Asia	WISE
105	Fonte Santa ,Freixia De Espado a Cinta, Portugal	2	?	DS	E	25	OT	2006	27/11/2006	Portugal / Europe	Franca et al 2007, Duque 2011
106	Mineracao Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais, Brazil, Mineração (Industrias Quimicas Cataguases)	2	Al	-	-	-	U	2006	1/03/2006	Brazil / South America	Brazil Magazine
107	Bangs Lake, Jackson County, Mississippi, USA (Mississippi Phosphates Corp)	4	P	-	-	-	OT	2005	14/04/2005	USA / North America	WISE
108	Lafayette Mining Polymetallic, Rapu Rapu Island, Albay, Philippines	2	Au	-	-	-	OT	2005	11/10/2005	Philippines / Asia	https://www.bulatlat.com/2005/11/26/lafayette-mining-deliberately-leaked-cyanide-says-fact-finding-mission-2/
109	Tailings Dam, USA	2	Cu	US	E	43	SE	2005	26/05/2005	USA / North America	CDA 2017
110	Pinchi Lake, BC, Canada (Teck Cominco Ltd.)	3	Hg	WR	E	12	ER	2004	30/11/2004	Canada / North America	WISE
111	Riverview, Florida (Cargill)	2	P	-	-	-	OT	2004	5/09/2004	USA / North America	WISE
112	Partizansk, Primorski Krai, Russia (Dalenergo)	2	Coal	Ring	-	-	U	2004	22/05/2004	Russian / Europe	WISE
113	Malvési, Aude, France (Comurhex, Cogéma/Areva)	3	U	-	-	-	U	2004	20/03/2004	France / Europe	WISE, Rana
114	Cerro Negro, Petorca Province, Quinta region, Chile (Cia Minera Cerro Negro), (5 of 5)	2	Cu	US	T	-	EQ	2003	3/10/2003	Chile / South America	WISE, Villavicencio
115	Sasa Mine, Macedonia	2	Pb Zn	US	-	-	ST	2003	30/08/2003	Macedonia / Europe	WISE, Vrhovnik et al, 2011; Vrhovnik et al, 2013; Peck, 2007, Rana
116	Mineracao Rio Pomba Cataguases, Mirai, Minas Gerais, Brazil, Mineração (Industrias Quimicas Cataguases)	1	Al	-	-	-	U	2003	25/06/1905	Brazil / South America	Brazil Magazine
117	Forquilha, Brazil	1	0	-	-	-	OT	2002	24/06/1905	Brazil / South America	ICOLD
118	San Marcelino Zambales, Philippines, Bayarong dam (Benguet Corp-Dizon Copper-Silver Mines Inc)	1	Cu Au	-	-	-	OT	2002	11/09/2002	Philippines / Asia	WISE, Piplinks
119	San Marcelino Zambales, Philippines, Camalca dam (Benguet Corp-Dizon Copper-Silver Mines)	3	Cu Au	-	-	-	OT	2002	27/08/2002	Philippines / Asia	WISE, Piplinks
120	El Cobre, Chile - El Soldado (Exxon)	3	Cu	US	T	-	OT	2002	8/11/2002	Chile / South America	Villavicencio
121	El Cobre, Chile, 2, 3, 4, 5 (Exxon)	3	Cu	US	T	-	OT	2002	22/09/2002	Chile / South America	Villavicencio
122	Thalanga Mine, Queensland Australia	4	Cu Pb Zn	UTSD	-	-	MS	2002	1/08/2002	Australia / Oceania	https://www.imwa.info/docs/imwa_2004/IMWA2004_12_Thienenkamp.pdf
123	Sebastião das Águas Claras, Nova Lima district, Minas Gerais, Brazil	2	Fe	-	-	-	U	2001	22/06/2001	Brazil / South America	WISE
124	Tarkwa, Ghana (Goldfields)	4	Au	-	-	-	U	2001	16/10/2001	Ghana / Africa	Environmental New Service
125	Cuajone mine, Torata water supply dam, Peru	4	Cu	DS	WR	130	EQ	2001	26/06/2001	Peru / South America	0
126	Baia Mare, Romania (Aurul S.A., Esmeralda Exploration)	1	Au	DS / US	T	7	ST	2000	30/01/2000	Romania / Europe	ICOLD, WISE, Rico
127	Nandan Tin mine, Dachang, Guangxi Province, China	1	Sn	US	-	-	U	2000	18/10/2000	China / Asia	WISE
128	Inez, Martin County, Kentucky, USA (Massey Energy subsidiary Martin Co. Coal Corp)	1	Coal	-	-	-	FN	2000	11/10/2000	USA / North America	WISE, Wood 2012
129	Aitik mine, near Gällivare, Sweden (Boliden Ltd)	1	Cu	DS	MW & E	15	ER	2000	8/09/2000	Sweden / Europe	WISE
130	Borsa, Romania (Remin S.A - govt)	3	Pb Zn	-	-	-	U	2000	10/03/2000	Romania / Europe	WISE
131	Toledo City, Philippines (Atlas Con Mining Corp)	1	Cu	-	-	-	ST	1999	9/08/1999	Philippines / Asia	Piplinks
132	Red Mountain, BC	3	Au Ag	Jumbo	-	-	SE	1999	5/06/1999	Canada / North America	Mt Polley Expert Panel 2015, App. I
133	Surigao Del Norte Placer, Philippines (3 of 3) Manila Mining Corp	2	Au	-	-	-	U	1999	26/04/1999	Philippines / Asia	WISE, Piplinks
134	Los Frailes, near Seville, Spain (Boliden Ltd.)	1	Pb Zn	DS	WR	27	FN	1998	25/04/1998	Spain / Europe	ICOLD, WISE, Rico
135	Huelva, Spain (Fertiberia, Foret)	3	P	-	-	-	OT	1998	31/12/1998	Spain / Europe	WISE, Wood 2012
136	Zamboanga Del Norte, Sibutad Gold Project (Philex Mining Corp)	3	Au	-	-	-	OT	1998	27/06/1998	Philippines / Asia	Piplinks
137	Mulberry Phosphate, Polk County, Florida, USA (Mulberry Phosphate)	2	P	-	-	-	SE	1997	7/12/1997	USA / North America	WISE; Beavers 2013.
138	Pinto Valley, Arizona, USA (BHP Copper)	2	Cu	US	-	-	SI	1997	22/10/1997	USA / North America	WISE, Rana
139	Zamboanga Del Norte, Sibutad Gold Project (Philex Mining Corp)	3	Au	-	-	-	OT	1997	6/11/1997	Philippines / Asia	Piplinks

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
140	Algarrobo, IV Region, Vallenar, Chile	3	Fe	US	-	18	EQ	1997	14/10/1997	Chile / South America	Villavicencio
141	Algarrobo, IV Region, Vallenar, Chile	3	Fe	US	-	20	EQ	1997	14/10/1997	Chile / South America	Villavicencio
142	Maitén, IV Region, Vallenar, Chile	3	0	US	-	15	EQ	1997	14/10/1997	Chile / South America	Villavicencio
143	Tranque Antiguo Planta La Cincera, IV Region, Vallenar, Chile	3	0	US/CL	-	30	EQ	1997	14/10/1997	Chile / South America	Villavicencio
144	Mar copper, Marinduque Island, Philippines (2 of 2) (Placer Dome and President Marcos)	1	Cu	Open Pit	-	-	ST	1996	24/03/1996	Philippines / Asia	ICOLD, WISE, Piplinks, Rana
145	Sgurigrad, Bulgaria	2	Pb Zn	US	T	45	SI	1996	1/05/1996	Bulgaria / Europe	ICOLD, Rico
146	Amatista, Peru	2	0	US	-	-	EQ	1996	12/11/1996	Peru / South America	WISE, Oldecop & Rodríguez 2007
147	El Porco, Bolivia (Comsur-62%, Rio Tinto-33%)	2	Pb Zn	-	-	-	U	1996	29/08/1996	Bolivia / South America	WISE
148	Caravelí, Peru	3	0	-	-	-	EQ	1996	12/11/1996	Peru / South America	Oldecop & Rodríguez 2007
149	Laisvall (Boliden), Sweden	3	Pb,Zn, Ag	-	tailings & moraine	40	ER	1996	18/06/1905	Sweden / Europe	http://ec.europa.eu/environment/waste/mining/pdf/mining_dams_seminar.pdf
150	Riltec, Mathinna, Tasmania	3	Au	CL	E	7	SE	1995	1/06/1995	Australia / Oceania	ICOLD
151	Middle Arm, Launceston, Tasmania	3	Au	CL	E	4	OT	1995	25/06/1995	Australia / Oceania	ICOLD
152	Omai Mine, Tailings dam No 1, 2, Guyana (Cambior)	1	Au	WR	R	44	ER	1995	19/08/1995	Guyana / South America	ICOLD, WISE, Rico
153	Surigao del Norte Placer, Philippines (2 of 3) (Manila Mining Corp)	2	Au	WR	E	17	SI	1995	2/09/1995	Philippines / Asia	ICOLD, WISE
154	Golden Cross, Waitekauri Valley, New Zealand (Coeur d'Alène Mines)	3	Au	-	R	28	FN	1995	1/12/1995	New Zealand / Oceania	ICOLD, WISE
155	Negros Occidental, Bulawan Mine Sipalay River, Philippines (Philex Mining Corp)	3	Au	-	-	-	U	1995	8/12/1995	Australia / Oceania	Piplinks
156	Merriespruit, near Virginia, South Africa (Harmony) - No 4A Tailings Complex	1	Au	US	T	31	OT	1994	22/02/1994	South Africa / Africa	ICOLD, WISE, Rico
157	Minera Sera Grande: Crixas, Goias, Brazil	3	Au	US	CST	41	SI	1994	1/02/1994	Australia / Oceania	ICOLD
158	Hopewell Mine, Hillsborough County, Florida, USA (IMC-Agrico)	1	P	-	-	-	U	1994	19/11/1994	USA / North America	WISE
159	Payne Creek Mine, Polk County, Florida, USA (IMC-Agrico)	1	P	-	-	-	U	1994	2/10/1994	USA / North America	WISE
160	Fort Meade Phosphate, Florida, USA (Cargill)	3	P	-	-	-	SE	1994	1/10/1994	USA / North America	WISE
161	IMC-Agrico Phosphate, Florida, USA	4	P	-	-	-	MS	1994	1/06/1994	USA / North America	WISE
162	Olympic Dam, Roxby Downs, South Australia	4	Cu U	-	-	-	U	1994	14/02/1994	Australia / Oceania	WISE
163	Longjiaoshan, Daye Iron Ore mine, Hubei	1	Fe	-	-	-	U	1994	1/01/1994	China / Asia	WISE
164	Tapo Canyon, Northbridge, California	2	Aggregate	US	T	24	EQ	1994	17/01/1994	USA / North America	Rico, Harder&Stewart 1996
165	Itogon-Suyoc, Baguio gold district, Luzon, Philippines (Benguet Corp)	3	Au Ag	-	-	-	OT	1993	26/06/1993	Philippines / Asia	ICOLD, Piplinks
166	TD 7, Chingola, Zambia	3	Cu	US	T&E	5	OT	1993	1/08/1993	Zambia / Africa	ICOLD
167	Gibson, Florida, USA (Cargill)	3	P	-	-	-	U	1993	1/10/1993	USA / North America	WISE
168	Marsa, Peru (Marsa Mining Corp)	2	Au	-	-	-	OT	1993	15/06/1905	Peru / South America	WISE, Piplinks
169	Magma Copper Company Pinto Valley Division Pinto Valley Operations, Arizona	3	cu	-	-	-	OT	1993	Jan/Feb-93	USA / North America	EPA 1998
170	Mar copper, Marinduque Island, Mogpog Philippines(12/6) (1 of 2) (Placer Dome-President Marcos)	2	Cu	-	-	-	U	1993	6/12/1993	Philippines / Asia	Piplinks
171	Saaiplaas, South Africa, failure on south ring dyke (22Mar93)	3	Au	US	CST	28	SI	1993	22/03/1993	South Africa / Africa	Blight
172	Saaiplaas, South Africa, 2 failures on west ring dyke (18-19Mar93)	3	Au	US	CST	28	SI	1993	18/03/1993	South Africa / Africa	Blight
173	Ray Complex, Pinal County, Arizona, AB-BA Impoundment	2	Cu	US	-	46	OT	1993	9/01/1993	USA / North America	EPA 1997
174	Tubu, Benguet, No.2 Tailings Pond, Luzon, Philippines - Padcal (Philex)	1	Cu	-	-	-	FN	1992	2/01/1992	Philippines / Asia	ICOLD, WISE, Piplinks, Larrauri

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
175	Kojkovac, Montenegro	3	Pb Zn	WR	E	-	ER	1992	1/11/1992	Montenegro / Europe	ICOLD
176	Maritsa Istok 1, Bulgaria	2	Coal	-	Ash	15	ER	1992	1/03/1992	Bulgaria / Europe	ICOLD, WISE
177	Iron Dyke, Sullivan Mine, Kimberley, BC, Canada (Cominco, Inc)	3	Pb Zn	US	-	21	SI	1991	23/08/1991	Canada / North America	ICOLD, WISE, Mt Polley Expert Panel 2015, App I
178	Ajka Alumina Plant, Kolontár, Hungary	3	Al	DS	Compacted Fly Ash	25	ST	1991	3/11/1991	Hungary / Europe	Kolontár Report, Larrauri
179	Magma Mine Tailings Dam #3	3	Cu	US	-	-	SI	1991	4/01/1991	USA / North America	EPA 1997
180	Brewer Gold Mine Jefferson South Carolina	2	Au	-	-	-	U	1990	1/11/1990	USA / North America	NWF, 2012
181	Matachewan Mines, Kirtland Lake, Ontario	2	U	-	-	-	U	1990	17/10/1990	Canada / North America	Proceedings of Canadian dam safety conference, Niagara Falls (Canada), Oct 1996; Ontario Environment, 1990
182	Big Four, Florida, USA	3	P	CL	E	-	FN	1989	11/06/1905	USA / North America	ICOLD
183	Thompson Creek, Idaho, USA (Cyprus)	3	Mo	CL	CST	146	SE	1989	11/06/1905	USA / North America	ICOLD
184	Silver King, Idaho, USA	3	Ag Pb	DS	E	9	OT	1989	5/08/1989	USA / North America	ICOLD
185	Soda Lake, California, USA	3	Na	US	E	3	EQ	1989	17/10/1989	USA / North America	ICOLD
186	Southern Clay, Tennessee, USA	3	Clay	WR	E	5	SE	1989	9/07/1989	USA / North America	ICOLD
187	Stancil, Maryland, USA	3	Sand	US	E	9	SI	1989	25/08/1989	USA / North America	ICOLD, WISE, Rico
188	Little Bay Mine (Atlantic Coast Copper Co), Little Bay, Newfoundland and Labrador, Canada	2	Cu	-	-	-	U	1989	11/06/1905	Canada / North America	https://www.researchgate.net/publication/10589756_State_of_the_marine_environment_at_Little_Bay_Arm_Newfoundland_and_Labrador_Canada_10_years_after_a_do_nothing_response_to_a_mine_tailings_spill
189	Rain Starter Dam, Elko, Nevada, USA	4	Au	WR	ER	27	U	1988	10/06/1905	USA / North America	ICOLD
190	Consolidated Coal No.1, Tennessee, USA,	2	Coal	DS	MW	85	ST	1988	19/01/1988	USA / North America	ICOLD, WISE
191	Unidentified, Hernando, County, Florida, USA #2	3	Limestone	US	E	12	OT	1988	1/09/1988	USA / North America	ICOLD
192	Unidentified, Hernando, County, Florida, USA #1	3	Limestone	DS	E	12	FN	1988	30/05/1905	USA / North America	ICOLD
193	Jinduicheng, Shaanxi Province., China	1	Mo	US	-	40	OT	1988	30/04/1988	China / Asia	ICOLD, WISE
194	Riverview, Hillsborough County, Florida (Gardiner/Cargill)	3	P	-	-	-	ER	1988	10/06/1905	USA / North America	WISE; Beavers 2013.
195	Montana Tunnels, MT, USA (Pegasus Gold)	4	Au	DS	MW	33	U	1987	9/06/1905	USA / North America	ICOLD
196	Xishimen, China	3	Fe	US	T	31	SI	1987	21/03/1987	China / Asia	ICOLD
197	Bekovsky, Western Siberia	3	Coal	US	Argillite, aleurolite	53	SI	1987	25/03/1987	Russian / Europe	ICOLD
198	Montcoal No.7, Raleigh County, West Virginia, USA	2	Coal	-	-	-	U	1987	8/04/1987	USA / North America	WISE
199	Surigao Del Norte Placer, Philippines (1 of 3) (Manila Mining Corp)	3	Au	-	-	-	U	1987	9/07/1987	Philippines / Asia	Piplinks
200	Big Four, Florida, USA	3	COAL	CL	E	18	ST	1986	8/06/1905	USA / North America	ICOLD
201	Bonsal, North Carolina, USA	3	Sand	WR	E	6	OT	1986	17/08/1986	USA / North America	ICOLD, Concha
202	Marianna Mine #58, PA, USA	3	Coal	US	E	37	SI	1986	19/11/1986	USA / North America	ICOLD
203	Spring Creek Plant, Borger, Texas, USA	3	Sand	-	-	5	OT	1986	8/06/1905	USA / North America	ICOLD
204	Mineral King, BC, Canada	3	Pb Zn	CL	CST	6	OT	1986	20/03/1986	Canada / North America	ICOLD, MT Polley Expert Panel 2015, App I
205	Itabirito, Minas Gerais, Brazil (Itaminos Comercio de Minérios)	2	Fe	Gravity	Masonry	30	ST	1986	1/05/1986	Brazil / South America	ICOLD, WISE, Concha

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
206	Rossarden, Tasmania	3	Sn	WR	E	7.5	OT	1986	16/05/1986	Australia / Oceania	ICOLD
207	Story's Creek, Tasmania	3	Sn	Valley side	-	17	OT	1986	16/05/1986	Australia / Oceania	ICOLD
208	Pico de Sao Luis, Gerais, Brazil	3	Fe	-	T	20	ER	1986	2/10/1986	Brazil / South America	ICOLD
209	Mankayan District, Luzon, Philippines, No.3 Tailings Pond (Benguet Corp subsidiary Lepanto Con Mining Co)	2	Cu Au	-	E	-	ST	1986	17/10/1986	Philippines / Asia	ICOLD, Piplinks
210	Fernandinho, nr Belo Horizonte, Brazil	1	COPPER	US	T	40	SI	1986	8/06/1905	Brazil / South America	ICOLD
211	Huangmeishan, China	2	Fe	-	-	-	SE	1986	8/06/1905	China / Asia	WISE
212	Cerro Negro No. (4 of 5)	2	Cu	US	CST	40	EQ	1985	3/03/1985	Chile / South America	ICOLD WISE, Rico
213	El Cobre No. 4 - El Soldado (Exxon)	3	Cu	DS	CST	50	EQ	1985	7/06/1905	Chile / South America	ICOLD
214	La Belle, Pennsylvania, USA	3	Coal	DS	MW	79	FN	1985	17/07/1985	USA / North America	ICOLD
215	Marga, Chile - El Teniente (Codelco)	3	Cu	-	-	-	OT	1985	7/06/1905	Chile / South America	ICOLD
216	Olinghouse, Nevada, USA	3	Au	WR	E	5	SE	1985	7/06/1905	USA / North America	ICOLD, WISE, Rico
217	Prestavel Mine - Stava, North Italy, 2, 3 (Prealpi Mineraria)	1	F	US	CST	29.5	SI	1985	19/07/1985	Italy / Europe	ICOLD, WISE, Rico, Luino & De Graff 2012
218	Veta de Agua No. 1, Chile	2	Cu	US	T	24	EQ	1985	3/03/1985	Chile / South America	ICOLD WISE, Rico
219	Niujialong tailings pond, China	1	Cu	US	T	40	OT	1985	25/08/1985	China / Asia	WISE, CEC 2017, Quelopana, 2019
220	Quintette, Ma'Emot, BC, Canada	4	Coal	-	-	-	U	1985	7/06/1905	Canada / North America	Blight & Fourie, 2004
221	Battle Mt. Gold, Nevada,	3	Au	DS	E	8	SI	1984	6/06/1905	USA / North America	ICOLD
222	Texasgulf 4B Pond, Beaufort, Co., North Carolina, USA	3	P	WR	T	8	SI	1984	1/04/1984	USA / North America	ICOLD
223	Virginia Vermiculite, Louisa County, Virginia, USA	3	Vermiculite	WR	E	9	ST	1984	6/06/1905	USA / North America	ICOLD
224	Mirolubovka, Southern Ukraine	3	Fe	US	E&T	32	SI	1984	15/01/1984	Ukraine / Europe	ICOLD
225	Clayton Mine, Idaho, USA	3	Ag Pb	CL	T	24	ST	1983	2/06/1983	USA / North America	ICOLD
226	Golden Sunlight, MT, USA	4	Au	CL	CST	-	U	1983	5/01/1983	USA / North America	ICOLD
227	Grey Eagle, California, USA	4	Au	DS	E	-	U	1983	5/06/1905	USA / North America	ICOLD
228	Vallenar 1 and 2	3	Cu	-	-	-	OT	1983	5/06/1905	Chile / South America	ICOLD
229	Royster, Florida, USA	3	Gypsum	US	T	21	FN	1982	4/06/1905	USA / North America	ICOLD
230	Sipalay, Philippines, No.3 Tailings Pond (Maricalum Mining Corp)	1	Cu	-	MW	-	FN	1982	8/11/1982	Philippines / Asia	ICOLD, WISE, Piplinks
231	Dixie Mine, Colorado, USA	3	Au	-	-	-	U	1981	1/04/1981	USA / North America	ICOLD
232	Texasgulf No. 1 Pond, Beaufort Co., North Carolina, USA	3	P	WR	E	-	SI	1981	3/06/1905	USA / North America	ICOLD
233	Veta de Agua A	3	Cu	-	-	-	EQ	1981	3/06/1905	Chile / South America	ICOLD
234	Veta de Agua B	3	Cu	-	-	-	EQ	1981	3/06/1905	Chile / South America	ICOLD
235	Balka Chuficheva, Russia	1	Fe	US	CST	25	SI	1981	20/01/1981	Russian / Europe	ICOLD, WISE , Concha
236	Ages, Harlan County, Kentucky, USA	2	Coal	-	-	-	U	1981	18/12/1981	USA / North America	WISE
237	Kyanite Mining, Virginia, USA	3	Kyanite	-	-	11	OT	1980	2/06/1905	USA / North America	ICOLD
238	Tyrone, New Mexico (Phelps Dodge)	1	Cu	US	CST	66	SE	1980	13/10/1980	USA / North America	ICOLD, WISE, Rico

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
239	Sweeney Tailings Dam, Longmont, Colorado, USA	3	Sand	-	-	7	SE	1980	1/05/1980	USA / North America	ICOLD
240	Arena, Sewell, VI Region, Rancagua, Chile - El Teniente (Codelco)	3	Cu	-	-	-	OT	1980	2/06/1905	Chile / South America	Villavicencio
241	Marga, Sewell, VI Region, Rancagua, Chile - El Teniente (Codelco)	3	Cu	-	-	-	OT	1980	2/06/1905	Chile / South America	Villavicencio
242	San Nicolas, Peru	3	0	-	-	-	ST	1980	2/06/1905	Peru / South America	Oldecop & Rodríguez 2007
243	Incident No. 1, Elliot, Ontario, Canada	4	U	WR	E	9	U	1979	1/06/1905	Canada / North America	ICOLD
244	Suncor E-W Dike, Alberta, Canada	3	Oil Sands	WR	MW	30	SI	1979	1/06/1905	Canada / North America	ICOLD
245	Union Carbide, Uravan, Colorado, USA	3	U	US	T	43	SI	1979	1/03/1979	USA / North America	ICOLD
246	Churchrock, New Mexico, United Nuclear	2	U	CL	E	11	FN	1979	16/07/1979	USA / North America	ICOLD, WISE, Wikipedia, Rico
247	Unidentified, British Columbia, Canada	3	?	-	-	-	FN	1979	1/06/1905	Canada / North America	WISE
248	Churchill Copper, BC	3	Cu	-	-	-	SE	1979	1/12/1979	Canada / North America	Mt Polley Expert Panel 2015, App. I
249	Hirayama, Japan	3	Au	DS	-	9	EQ	1978	31/05/1905	Japan / Asia	ICOLD
250	Mochikoshi No. 1, Japan (1 of 2)	2	Au	US	T	28	EQ	1978	14/01/1978	Japan / Asia	ICOLD, WISE, Rico, Ishihara 1984
251	Mochikoshi No. 2, Japan (2 of 2)	3	Au	US	T	19	EQ	1978	15/01/1978	Japan / Asia	ICOLD, Rico, Quelopana 2019, CDA 2017
252	Norosawa, Japan	3	Au	DS	-	24	EQ	1978	15/01/1978	Japan / Asia	ICOLD, Ishihara 1984
253	Syncrude, Alberta, Canada	3	Oil Sands	CL	T	-	FN	1978	31/05/1905	Canada / North America	ICOLD
254	Arcturus, Zimbabwe	2	Au	US	T	25	OT	1978	31/01/1978	Zimbabwe / Europe	ICOLD, WISE, Rico
255	Grants, Milan, New Mexico, USA mill site (Homestake Mining)	3	U	US	T	21	ST	1977	1/02/1977	USA / North America	ICOLD, WISE
256	Madison, Missouri, USA	3	Pb	WR	E	11	OT	1977	28/02/1977	USA / North America	ICOLD
257	Pit No. 2, Western Australia	3	REE	US	T	9	SI	1977	30/05/1905	Australia / Oceania	ICOLD
258	Unidentified, Hernando, County, Florida, USA	3	Limestone	CL	E	6	FN	1977	30/05/1905	USA / North America	ICOLD
259	Western Nuclear, Jeffrey City, Wyoming, USA #2	3	U	-	-	-	SI	1977	30/05/1905	USA / North America	ICOLD
260	Dashihe, China	3	Fe	US	-	37	EQ	1976	29/05/1905	China / Asia	ICOLD
261	Kerr-McGee, Churchrock, New Mexico, USA	3	U	WR	E	9	FN	1976	1/04/1976	USA / North America	ICOLD
262	Unidentified, Idaho, USA	3	P	DS	E	34	SI	1976	29/05/1905	USA / North America	ICOLD
263	Zlevoto No. 4, Yugoslavia	2	Pb Zn	US	T	25	SI	1976	1/03/1976	Yugoslavia / Europe	ICOLD, WISE, Quelopana, 2019
264	Cadet No. 2, Montana, USA	3	Barite	CL	E	21	SI	1975	1/09/1975	USA / North America	ICOLD
265	Carr Fork, Utah, USA (Anaconda)	3	Cu Au	-	-	10	ST	1975	1/02/1975	USA / North America	ICOLD
266	Dresser No. 4, Montana, USA	3	Barite	CL	E	15	FN	1975	28/05/1905	USA / North America	ICOLD
267	Keystone Mine, Crested Butte, Colorado, USA	3	Mo	-	-	-	U	1975	28/05/1905	USA / North America	ICOLD
268	Mike Horse, Montana, USA (Asarco)	2	Pb Zn	US	T	18	OT	1975	28/05/1905	USA / North America	ICOLD, WISE

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
269	PCS Rocanville, Saskatchewan, Canada	4	K	US	T	12	U	1975	28/05/1905	Canada / North America	ICOLD
270	Unidentified, Green River, Wyoming, USA	4	Trona	WR	E	18	U	1975	28/05/1905	USA / North America	ICOLD
271	Heath Steele main dam, Brunswick, Canada (American Metals)	4	Pb Zn	WR	R,E	30	FN	1975	28/05/1905	Canada / North America	ICOLD
272	Madjarevo, Bulgaria	2	Pb Zn	US	T	40	ST	1975	1/04/1975	Bulgaria / Europe	ICOLD, WISE
273	Silverton, Colorado, USA	2	Au Ag	-	-	-	U	1975	1/06/1975	USA / North America	WISE
274	Bafokeng, South Africa	1	Pt	US	T	20	SE	1974	11/11/1974	South Africa / Africa	ICOLD, WISE, Rico, Quelopana, 2019
275	Berrien, France	3	Ag Pb	US	R	9	SE	1974	27/05/1905	France / Europe	ICOLD
276	Deneen Mica Yancey County, North Carolina, USA	3	Mica	US	CST	18	SI	1974	1/06/1974	USA / North America	ICOLD, WISE, Quelopana, 2019
277	GCOS, Alberta, Canada	3	Oil Sands	US	T	61	SI	1974	27/05/1905	Canada / North America	ICOLD
278	Galena Mine, Idaho, USA (ASARCO) (2 of 2)	3	Ag Pb	US	MW	9	OT	1974	15/01/1974	USA / North America	ICOLD, Rico
279	Golden Gilpin Mine, Colorado, USA	3	Au	-	-	12	U	1974	1/11/1974	USA / North America	ICOLD
280	Silver King, Idaho, USA	3	Ag	DS	E	9	OT	1974	16/01/1974	USA / North America	ICOLD
281	Unidentified, Mississippi, USA #2	3	Gypsum	US	T	20	FN	1974	27/05/1905	USA / North America	ICOLD
282	Unidentified, Canaca, Mexico	3	Cu	US	T	46	OT	1974	27/05/1905	Mexico / North America	ICOLD
283	Earth Resources, N M, USA	3	Cu	US	T	21	OT	1973	26/05/1905	USA / North America	ICOLD
284	Ray Mine, Arizona, USA #2 (Kennebott)	3	Cu	US	T	52	SI	1973	5/02/1973	USA / North America	ICOLD
285	(unidentified), Southwestern USA	2	Cu	US	E	43	SI	1973	26/05/1905	USA / North America	ICOLD, WISE, Rico
286	Galena Mine, Idaho, USA (ASARCO) (1 of 2)	3	Ag Pb	US	E	14	ER	1972	25/05/1905	USA / North America	ICOLD
287	Ray Mine, Arizona, USA	3	Cu	US	T	52	SI	1972	2/12/1972	USA / North America	ICOLD
288	Brunita Mine, Caragena, Spain (SMM Penaroya)	2	Zn, Pb, Cu	US	MW	25	OT	1972	20/10/1972	Spain / Europe	WISE, Martín-Crespo et al 2017, Rodríguez et al. 2011
289	Buffalo Creek, West Virginia, USA (Pittson Coal Co.)	1	Coal	US	WR	16	OT	1972	26/02/1972	USA / North America	WISE, Rico, CDA 2017
290	Cities Service, Fort Meade, Florida, phosphate	1	P	CL	E	15	U	1971	3/12/1971	USA / North America	ICOLD, WISE, Rico, CDA 2017
291	Pinchi Lake, BC, Canada	3	Hg	WR	E	13	ER	1971	24/05/1905	Canada / North America	ICOLD
292	Western Nuclear, Jeffrey City, Wyoming, USA	3	U	-	-	-	ST	1971	24/05/1905	USA / North America	ICOLD
293	Certej gold mine, Romania	1	Au Ag	US	-	25	SI	1971	30/10/1971	Romania / Europe	WISE, Mining Watch Romania, 30Oct14; Adevărul, 14Oct10, Rana
294	Chungar, Peru	1	0	-	-	-	EQ	1971	19/03/1971	Peru / South America	Rudolph & Coldewey 2008
295	Atacocha, Peru (Compañía Minera Atacocha)	3	Cu, Pb, Zn	-	-	-	St	1971	24/05/1905	Peru / South America	Oldecop & Rodríguez 2007
296	Quiruvilca mine, Almivirca tailings dam, Peru (2 of 2)	3	Cu, Ag, Pb, Zn	-	-	40	EQ	1970	24/05/1905	Peru / South America	Oldecop & Rodríguez 2007

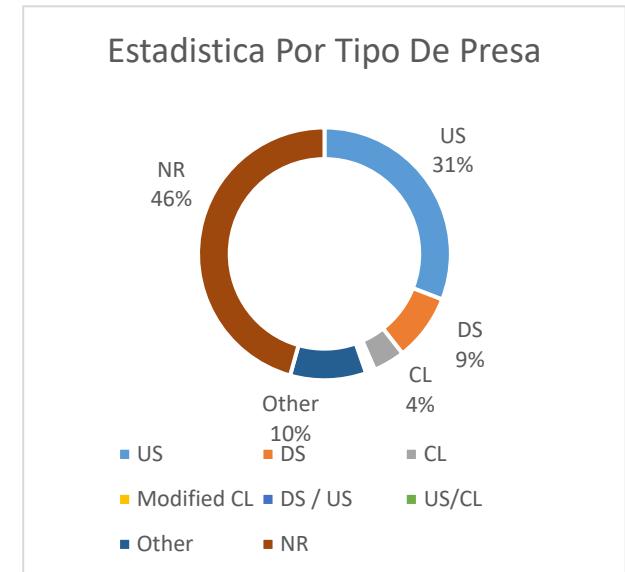
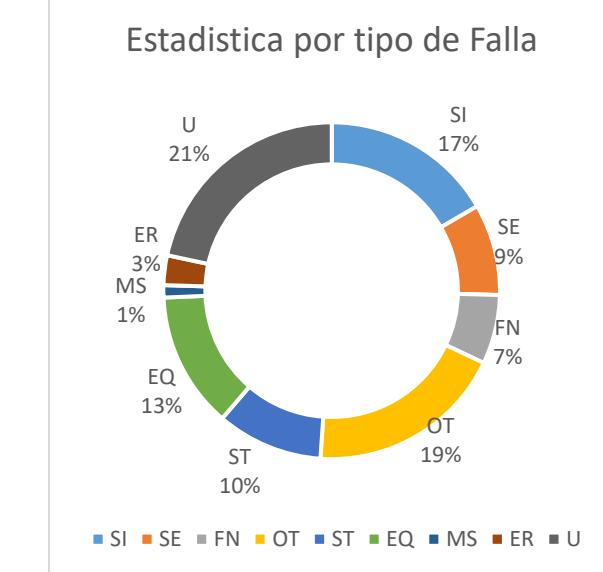
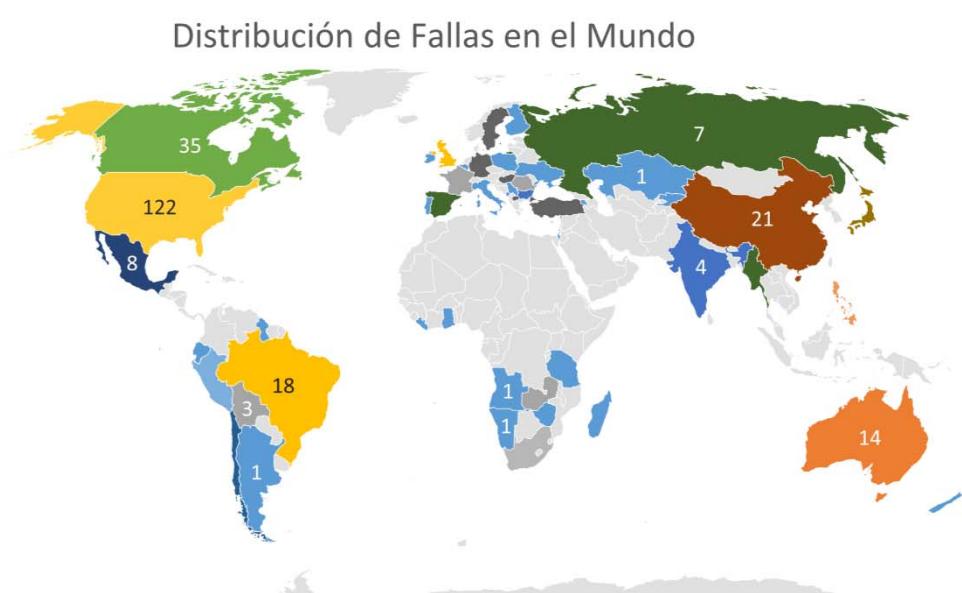
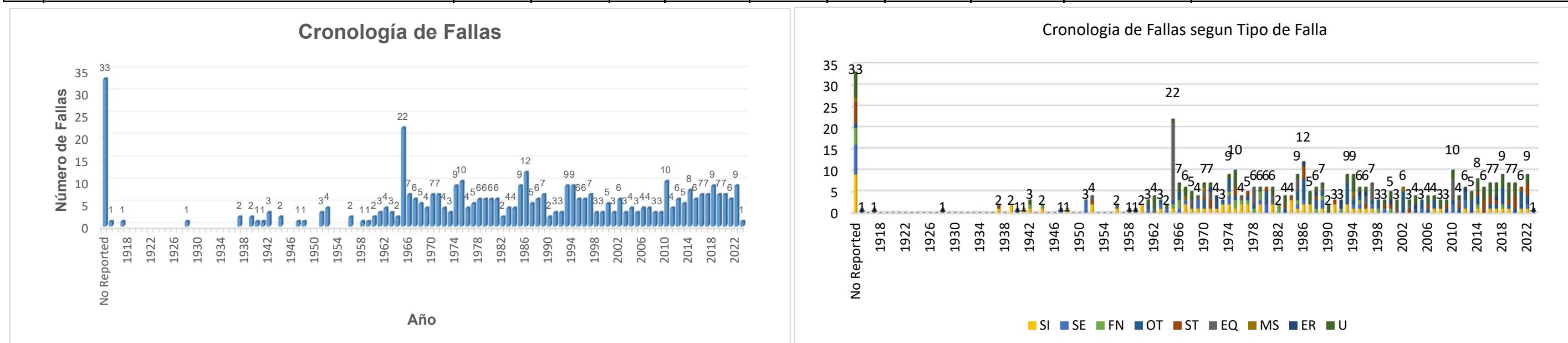
ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
297	Ticapampa, Peru	2	0	-	-	20	EQ	1971	24/05/1905	Peru / South America	Oldecop & Rodríguez 2007
298	Maggie Pye, United Kingdom, clay	3	Clay	US	T	18	SI	1970	1/01/1970	United Kingdom / Europe	ICOLD, WISE
299	Mulfilira, Zambia (Roan Consolidated Mines)	1	Cu	-	-	50	MS	1970	1/09/1970	Zambia / Africa	ICOLD, WISE
300	Park, United Kingdom	3	Clay	WR	T	3	OT	1970	23/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD
301	Portworthy, United Kingdom	3	Clay	DS	R	15	ST	1970	23/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD
302	Unidentified, Mississippi, USA	3	Gypsum	US	T	15	OT	1970	23/05/1905	USA / North America	ICOLD
303	Williamsport Washer, Maury County, Tennessee, USA	3	P	-	-	21	U	1970	23/05/1905	USA / North America	ICOLD
304	Bilbao, Spain	2	Fe	-	-	-	SI	1969	22/05/1905	Spain / Europe	ICOLD, WISE
305	Monsanto Dike 15, TN, USA	4	P	DS	E	43	SE	1969	22/05/1905	USA / North America	ICOLD
306	Phoenix Copper, BC	3	Cu	US	-	-	SE	1969	12/09/1969	Canada / North America	Mt Polley Expert Panel 2015, App. I
307	Buenaventura, Peru	3	0	-	-	-	EQ	1969	22/05/1905	Peru / South America	Gill 2011, Oldecop & Rodríguez 2007
308	Agrico Chemical, Florida, USA	3	P	-	-	-	U	1968	21/05/1905	USA / North America	ICOLD
309	Hokkaido, Japan	3	Pb Zn	US	T	12	EQ	1968	21/05/1905	Japan / Asia	ICOLD, WISE, Rico
310	IMC K-2, Saskatchewan, Canada	4	K	US	T	30	U	1968	21/05/1905	Canada / North America	ICOLD
311	Stoney Middleton, UK	3	?	-	-	-	SI	1968	8/02/1968	United Kingdom / Europe	ICOLD
312	Yauli-Yacu, Peru	3	0	US	-	80	EQ	1968	22/05/1905	Peru / South America	Gill 2011, Oldecop & Rodríguez 2007
313	Climax, Grand Junction, CO, USA - Mill (Climax Molybdenum Co)	3	U	-	-	-	U	1967	2/07/1967	USA / North America	ICOLD
314	Iwiny Tailings Dam, Poland	1	Cu	US	E	-	MS	1967	17/09/1967	Poland / Europe	ICOLD Bulletin 121
315	Mobil Chemical, Fort Meade, Florida, phosphate	1	P	-	-	-	U	1967	1/03/1967	USA / North America	ICOLD, WISE
316	Unidentified, United Kingdom	3	Coal	DS	-	20	SI	1967	20/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD, WISE
317	Unidentified, United Kingdom #2	3	Coal	DS	MW	14	SI	1967	20/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD
318	Unidentified, United Kingdom #3	3	Sand	DS	E	30	SE	1967	20/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD
319	Derbyshire, United Kingdom	3	Coal	DS	-	8	FN	1966	19/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD, WISE
320	Mir mine, Sgurigrad, Bulgaria	1	Pb Zn	US	T	45	OT	1966	1/05/1966	Bulgaria / Europe	ICOLD, WISE, Quelopana, 2019
321	Gypsum Tailings Dam (Texas, USA)	2	Gypsum	US	T	16	SE	1966	19/05/1905	USA / North America	ICOLD, WISE, Rico, CDA 2017
322	Williamthorpe, UK #1	3	Coal	-	MW	-	OT	1966	19/05/1905	United Kingdom / Europe	ICOLD
323	Williamthorpe, UK #2	3	Coal	-	-	-	FN	1966	24/03/1966	United Kingdom / Europe	ICOLD
324	Aberfan, Tip No 7, South Wales Colliery	4	Coal	-	-	37	U	1966	21/10/1966	United Kingdom / Europe	Blight & Fourie, 2004; WISE; Wikipedia
325	Geising/Erzgebirge, German Democratic Republic VEB Zinnerz	3	Sn	-	-	-	U	1966	9/10/1966	Germany / Europe	WISE
326	American Cyanamid, Florida #2	3	P	-	-	-	U	1965	18/05/1905	USA / North America	ICOLD

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
327	Bellavista, Chile	3	Cu	US	T	20	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, WISE
328	Cerro Blanco de Polpaico, Chile	3	Limestone	WR	R	9	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
329	Cerro Negro No. (1 of 5)	3	Cu	US	T	46	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
330	Cerro Negro No. (2 of 5)	3	Cu	US	T	46	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
331	Cerro Negro No. (3 of 5)	3	Cu	US	T	20	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, WISE, Rico
332	El Cerrado, Chile	3	Cu	US	T	25	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
333	El Cobre New Dam	2	Cu	DS	CST	19	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, WISE, Concha
334	El Cobre Old Dam	1	Cu	US	T	35	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, WISE, Rico
335	El Cobre Small Dam - El Soldado (Penarroya)	3	Cu	US	T	26	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
336	Hierro Viejo, Chile	3	Cu	US	T	5	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
337	La Patagua New Dam, Chile (La Patagua - private)	3	Cu	US	T	15	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, WISE, Rico, Rana
338	Los Maquis No. 1	3	Cu	US	T	15	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, WISE, Quelopana, 2019
339	Los Maquis No. 3	3	Cu	US	-	15	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD, Rico
340	N'yukka Creek, USSR	3	?	WR	E	12	FN	1965	18/05/1905	Russian / Europe	ICOLD
341	Ramayana No. 1, Chile	3	Cu	US	T	5	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
342	Sauce No. 1, Chile	3	Cu	US	T	6	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
343	Sauce No. 2, Chile	3	Cu	US	T	5	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
344	Sauce No. 3, Chile	3	Cu	US	-	5	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
345	Sauce No. 4, Chile	3	Cu	US	T	5	EQ	1965	28/03/1965	Chile / South America	ICOLD
346	Tymawr, United Kindom #2	3	Coal	-	-	12	OT	1965	29/03/1965	United Kingdom / Europe	ICOLD, WISE
347	Unidentified, Idaho, USA	3	P	DS	E	18	SI	1965	18/05/1905	USA / North America	ICOLD
348	Alcoa, Texas, USA	3	Al	-	-	19	U	1964	1/10/1964	USA / North America	ICOLD
349	Castano Viejo Mine, San Juan, Argentina	2	Pb, Zn, Cu, Ag	Wood	T	9	SE	1964	17/05/1905	Argentina / South America	Garino et al 2016, Pacheco 2018.
350	Utah Construction, Riverton, Wyoming, USA	3	U	-	-	-	OT	1963	16/06/1963	USA / North America	ICOLD
351	El Descargador, Cartagena-La Unión, Murcia province, Spain	2	iron, zinc, lead, silver	-	-	-	SI	1963	1963, Oct. 14	Spain / Europe	WISE
352	Louisville, USA	2	Carbide	-	-	31	SE	1963	16/05/1905	USA / North America	CDA 2017
353	American Cyanamid, Florida	1	Gypsum	-	-	-	U	1962	15/05/1905	USA / North America	ICOLD; Beavers 2013.
354	Mines Development, Edgemont, South Dakota, USA	3	U	-	-	-	U	1962	11/06/1962	USA / North America	ICOLD

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
355	Quiruvilca mine, Almivirca tailings dam, Peru (1 of 2)	3	Cu, Ag, Pb, Zn	-	-	40	EQ	1962	15/05/1905	Peru / South America	ICOLD, WISE, Oldecop & Rodríguez 2007
356	Huogudu, Yunnan Tin Group Co., Yunnan	1	Sn	US	-	19	U	1962	26/09/1962	China / Asia	WISE, Quelopana, 2019
357	Tymawr, United Kingdom #1	3	Coal	-	-	-	OT	1961	1/12/1961	United Kingdom / Europe	ICOLD, WISE
358	Union Carbide, Maybell, Colorado, USA	3	U	-	-	-	U	1961	6/12/1961	USA / North America	ICOLD
359	Jupille, Belgium	2	Coal	-	-	46	SE	1961	14/05/1905	Belgium / Europe	Blight & Fourie 2004, CDA 2017
360	Lower Indian Creek, MO, USA	3	Pb	US	E	-	SI	1960	13/05/1905	USA / North America	ICOLD
361	La Luciana, Reocín (Santander), Cantabria, Spain	2	0	US	T	24	SI	1960	17/08/1960	Spain / Europe	Fernández-Naranjo 2017, Quelopana, 2019
362	Union Carbide, Green River, Utah, USA	3	U	-	-	-	OT	1959	19/08/1959	USA / North America	ICOLD
363	Mailuu-Suu #7 tailings dam (Kyrgyzstan)	2	U	-	-	-	EQ	1958	16/04/1958	Kyrgyzstan / Asia	Wikipedia (2017)
364	Grootvlei, South Africa	3	Au	US	T	-	SI	1956	9/05/1905	South Africa / Africa	ICOLD
365	Milpo, Peru	2	0	-	-	60	EQ	1956	9/05/1905	Peru / South America	Oldecop & Rodríguez 2007
366	Casapalca, Peru	2	IRON	US	T	107	ST	1952	5/05/1905	Peru / South America	ICOLD
367	Casapalca, Peru (Centromin)	1	Cu, Ag, Pb, Zn	US	-	60	EQ	1952	5/05/1905	Peru / South America	ICOLD, Oldecop & Rodríguez 2007.
368	Unidentified, Alfaria River, Florida, USA 2/52	3	P	WR	E	8	SI	1952	1/02/1952	USA / North America	ICOLD
369	Unidentified, Peace River, Florida, USA 3/52	3	P	WR	E	8	SI	1952	1/03/1952	USA / North America	ICOLD
370	Unidentified, Peace River, Florida 7/51	3	P	WR	MW	30	SE	1951	1/07/1951	USA / North America	ICOLD
371	Unidentified, Peace River, Florida, USA 9/51	3	P	WR	MW	6	SE	1951	1/09/1951	USA / North America	ICOLD
372	Unidentified, Peace River, Florida, USA 2/51	3	P	DS	E	-	SE	1951	1/02/1951	USA / North America	ICOLD
373	Sullivan Mine, Kimberley, BC, Canada	1	Pb Zn	US	T	-	SI	1948	1/05/1905	Canada / North America	ICOLD
374	Castle Dome, Arizona, USA	2	Cu	US	T	-	SE	1947	29/09/1947	USA / North America	ICOLD
375	Hollinger, Canada	3	Au	US	T	15	FN	1944	27/04/1905	Canada / North America	ICOLD
376	Tip No 4, UK	4	Coal	-	-	46	SI	1944	27/04/1905	United Kingdom / Europe	CDA 2017
377	Captains Flat Dam 2, Australia	3	IRON	CL	E	22	SI	1942	25/04/1905	Australia / Oceania	ICOLD
378	Captains Flat Dump 3, Australia	3	Cu	-	T	-	U	1942	25/04/1905	Australia / Oceania	ICOLD
379	Kennecott, Utah, USA	3	Cu	US	T	-	FN	1942	25/04/1905	USA / North America	ICOLD
380	Kennecott, Garfield, Utah, USA	3	Cu	US	T	-	SI	1941	24/04/1905	USA / North America	ICOLD
381	St. Joe Lead, Flat Missouri, USA	3	Pb	US	T	15	OT	1940	23/04/1905	USA / North America	ICOLD
382	Captains Flat Dump 6A, Australia	3	Cu	US	T	-	SI	1939	22/04/1905	Australia / Oceania	ICOLD
383	Abercyon, UK	2	Coal	-	-	37	SI	1939	22/04/1905	United Kingdom / Europe	CDA 2017
384	Simmer and Jack, South Africa	2	Au	US	T	-	SI	1937	20/04/1905	South Africa / Africa	ICOLD, Infomine

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
385	Los Cedros, Tlalpujahua, Michoacán, México	1	Au Ag	US	T	35	ST	1937	27/05/1937	Mexico / North America	Macias et al, 2015, Quelopana 2019
386	Barahona, Chile	1	Cu	US	CST	61	EQ	1928	10/01/2028	Chile / South America	ICOLD, Quelopana, 2019
387	Unidentified, South Africa	3	Au	-	-	-	U	1917	31/03/1905	South Africa / Africa	ICOLD
388	Agua Dulce, Sewell, VI Region, Rancagua, Chile	2	Cu	-	-	61	OT	1915	15/06/1915	Chile / South America	Villavicencio
389	Miami Copper, Arizona, USA	3	MAGNESIA	US	T	-	SE	Before 1971	Before 1971	USA / North America	ICOLD
390	Missouri Lead, Missouri, USA	3	0	DS	CST	17	ST	Before 1971	Before 1971	USA / North America	ICOLD
391	Santander, Spain	2	COAL	-	-	-	FN	Before 1971	Before 1971	Spain / Europe	ICOLD
392	Southwest US, USA	3	COAL	US	T	-	SI	Before 1971	Before 1971	USA / North America	ICOLD
393	Unidentified	2	0	US	-	-	SI	Before 1971	Before 1971	Unidentified / Unidentified	ICOLD
394	Unidentified	2	COAL	WR	E	-	ST	Before 1971	Before 1971	Unidentified / Unidentified	ICOLD
395	Unidentified	3	TRONA	US	T	-	ST	Before 1971	Before 1971	Unidentified / Unidentified	ICOLD
396	Irelyakh, USSR	3	GOLD	WR	E	10	ST	Before 1972	Before 1972	Russian / Europe	ICOLD
397	Unidentified, United Kingdom	3	COPPER	DS	-	-	SI	Before 1972	Before 1972	United Kingdom / Europe	ICOLD
398	Unidentified, Indiana, USA	1	GOLD	-	-	-	OT	Before 1974	Before 1974	USA / North America	ICOLD
399	Unidentified	2	0	US	MW	-	SI	Before 1976	Before 1976	Unidentified / Unidentified	ICOLD
400	Unidentified	3	0	US	T	-	SE	Before 1976	Before 1976	Unidentified / Unidentified	ICOLD
401	Unidentified, South Africa	3	0	US	T	-	SE	Before 1976	Before 1976	South Africa / Africa	ICOLD
402	Unidentified, USA	3	GOLD	US	CST	60	SI	Before 1976	Before 1976	USA / North America	ICOLD
403	Unidentified, USA	3	GOLD	WR	E	6	FN	Before 1976	Before 1976	USA / North America	ICOLD
404	Unidentified, United Kingdom	1	0	-	R	12	U	Before 1976	Before 1976	United Kingdom / Europe	ICOLD
405	Unidentified, Eastern USA	3	GOLD	-	MW	150	SI	Before 1976	Before 1976	USA / North America	ICOLD
406	Atlas Consolidated, Philippines	1	COBALT	-	-	-	MS	Before 1979	Before 1979	Philippines / Asia	ICOLD
407	Avoca Mines, Ireland	1	COPPER	WR	T	-	SI	Before 1979	Before 1979	Ireland / Europe	ICOLD
408	Granisle, BC, Canada	3	PHOSPHATE	DS	MW	24	SE	Before 1979	Before 1979	Canada / North America	ICOLD
409	Unidentified	3	COPPER	US	-	-	SI	Before 1979	Before 1979	Unidentified / Unidentified	ICOLD
410	Bancroft, Ontario, Canada	4	LEAD/ZINC	-	-	-	U	Before 1979	Before 1979	Canada / North America	ICOLD
411	Unidentified	3	COPPER	WR	R	24	FN	Before 1979	Before 1979	Unidentified / Unidentified	ICOLD
412	Unidentified, South Africa	3	LEAD	US	T	-	FN	Before 1979	Before 1979	South Africa / Africa	ICOLD
413	Unidentified, South Africa	1	0	US	T	-	SI	Before 1979	Before 1979	South Africa / Africa	ICOLD
414	Unidentified, Arizona, USA	3	0	US	CST	18	SE	Before 1979	Before 1979	USA / North America	ICOLD
415	Unidentified	4	0	DS	E	-	U	Before 1979	Before 1979	Unidentified / Unidentified	ICOLD

ID	MINA/ PROYECTO & UBICACIÓN	NIVEL SEVERIDAD	TIPO DE MINERAL	TIPO DE PRESA	MATERIAL DE DIQUE	ALTURA DE DIQUE	TIPO DE CAUSA	AÑO DE INCIDENTE	FECHA DE INCIDENTE	PAÍS / REGIÓN	FUENTE
416	Unidentified, Wyoming, USA	4	0	WR	E	24	U	Before 1979	Before 1979	USA / North America	ICOLD
417	Unidentified, BC, Canada	3	0	DS	CST	-	SE	Before 1979	Before 1979	Canada / North America	ICOLD
418	Unidentified, BC, Canada	3	0	DS	MW	30	SE	Before 1979	Before 1979	Canada / North America	ICOLD
419	Blackbird, Idaho, USA	3	PHOSPHATE	CL	MW	15	ST	Before 1980	Before 1980	USA / North America	ICOLD
420	Unidentified	4	COPPER	WR	E	8	U	Before 1984	Before 1984	Unidentified / Unidentified	ICOLD
421	Unidentified, Colorado, USA	4	URANIUM	WR	E	-	U	Before 1984	Before 1984	USA / North America	ICOLD



ANEXO II:

Matriz de Modos de Falla vs Peligros - Preguntas asociadas a los peligros y
Modos de Falla (CDA, 2016b).

Matriz 1.- Matriz Modos de Falla vs Peligros

MODOS DE FALLA GLOBAL		ELEMENTO DE EVALUACIÓN	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE FALLAS FUNCIONALES	ID	PELIGROS EXTERNOS			PELIGROS INTERNOS (DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN)			
					Meteorológico	Sísmico	Entorno de reservorio	Barrera de agua	Estructura hidráulica	Mecánico eléctrico	Infraestructura y planes
					A	B	C	D	E	F	G
COLAPSO DE LA PRESA POR SOBREPASO (Erosión o vuelco)	ELEVACIÓN DE AGUA DEMASIADO ALTA	CAPACIDAD INSTALADA DE DESCARGA INADECUADA	Flujo meteorológico > Amortiguamiento + capacidad de salida	1	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
		CAPACIDAD DISPONIBLE DE DESCARGA INADECUADA	Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	2	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2
			Falla funcional aleatoria en la demanda	3	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
		BORDE LIBRE INADECUADO	Capacidad de descarga no mantenida o retenida	4	A4	B4	C4	D4	E4	F4	G4
			Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	5	A5	B5	C5	D5	E5	F5	G5
COLAPSO DE LA PRESA POR PERDIDA DE RESISTENCIA (Falla o debilitación estructural interno o externo)	ELEVACIÓN DE CRESTA DEMASIADO BAJA	DEFICIENCIA DEL SISTEMA DE GESTIÓN	Disipación de la onda de viento inadecuada	6	A6	B6	C6	D6	E6	F6	G6
			LOS OPERADORES NO PROPORCIONAN OPORTUNAMENTE AVISOS DE DETECCIÓN Y CORRECIÓN	7	A7	B7	C7	D7	E7	F7	G7
		ESTABILIDAD BAJO CARGAS APLICADAS	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan/previenen la insuficiencia hidráulica	8	A8	B8	C8	D8	E8	F8	G8
			La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	9	A9	B9	C9	D9	E9	F9	G9
		ESTANQUEIDAD	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	10	A10	B10	C10	D10	E10	F10	G10
			Pérdida de soporte (falla de cimentación o pilar)	11	A11	B11	C11	D11	E11	F11	G11
		DURABILIDAD/ AGRIETAMIENTO	Filtración alrededor de la interfaz (pilares, cimientos. Paradas de agua)	12	A12	B12	C12	D12	E12	F12	G12
			A través de la falla del control de infiltración de la presa (filtros, drenajes, bombas)	13	A13	B13	C13	D13	E13	F13	G13
			Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	14	A14	B14	C14	D14	E14	F14	G14
Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)											

Fuente: CDA,2016b

Tabla II.1 - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Externo - Meteorológico

ID	PELIGRO EXTERNO : METEOROLÓGICO
A1	¿Podría un evento meteorológico hacer que el flujo de entrada sea mayor que la capacidad de flujo de salida y provocar un desbordamiento / falla de la presa debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
A2	¿La presa podría ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si no se siguen las reglas de operación?
A3	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si hay una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga?
A4	¿La presa podría ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si la capacidad de descarga no es mantenida?
A5	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico debido a un deslizamiento de tierra en el embalse o una falla de la presa aguas arriba?
A6	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico debido a la inadecuada disipación de las olas generadas por el viento?
A7	¿Podría un evento meteorológico impedir que las actividades de los Ingenieros de Seguridad de Presas (basadas en los requisitos de OMS) detecten / eviten una insuficiencia hidráulica que provoque un desbordamiento / falla de la presa?
A8	¿Podría el evento meteorológico evitar que las reglas de OMS sean implementadas por el Ingeniero de seguridad de Presa, lo que lleva al colapso de la presa por pérdida de resistencia?
A9	¿Podría ocurrir una pérdida de resistencia e inestabilidad estática durante un evento meteorológico y causar el colapso de la presa?
A10	¿Podría la reducción / falta de soporte en la fundación o estribos durante un evento meteorológico causar el colapso de la presa?
A11	¿Podría la filtración alrededor de las interfaces / estribos / fundación durante un evento meteorológico reducir la estanqueidad suficiente para provocar el colapso de la presa?
A12	¿Podría una filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas, inestabilidad interna) durante un evento meteorológico reducir la estanqueidad y provocar el colapso de la presa?
A13	¿Podría el debilitamiento estructural (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) causado por un evento meteorológico causar el colapso de la presa?
A14	¿Podría ocurrir un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) causado por un evento meteorológico que cause el colapso de la presa?

Tabla II.2- Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Externo - Sismo

ID	PELIGRO EXTERNO : SISMO
B1	¿Podría un evento sísmico causar un evento meteorológico y hacer que la presa sea sobrepasada / falle debido a una capacidad de descarga reducida (canales, vertederos)?
B2	¿Podría un evento sísmico crear una condición que impida que se sigan las reglas de operación, lo que provocaría que la presa sea sobrepasada / falle?
B3	¿Podría un evento sísmico causar un fallo funcional aleatorio de la capacidad de derrame que conduzca a que la presa sea sobrepasada / falle?
B4	¿Podría un evento sísmico causar daño a la capacidad de descarga que cause que la presa sea sobrepasada o falle?
B5	Podría un evento sísmico causar que la presa sea sobrepasada/falle por una avalancha en el reservorio o una falla de la presa aguas arriba?
B6	Podría un evento sísmico causar que la presa sea sobrepasada/falle debido a un borde libre inadecuado y olas generadas por el viento?

ID	PELIGRO EXTERNO : SISMO
B7	¿Podría un evento sísmico evitar que las actividades de los Ingenieros de Seguridad de la Presa (basadas en los requisitos de OMS) detecten / eviten la insuficiencia hidráulica que provoque el sobrepaso / falla de la presa?
B8	¿Podría un evento sísmico hacer que no se sigan las reglas de la OMS y provocar un colapso por pérdida de resistencia durante un evento sísmico?
B9	¿Podría un evento sísmico causar una inestabilidad externa masiva y causar el colapso de la presa?
B10	¿Podría un evento sísmico causar reducción / falta de soporte en la fundación o estribos que conduzcan al colapso de la presa?
B11	¿Podría un evento sísmico causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos reducir la estanqueidad al agua lo suficiente para provocar el colapso de la presa?
B12	¿Podría un evento sísmico causar que la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) falle y reduzca la estanqueidad y cause el colapso de la presa?
B13	¿Podría un evento sísmico causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y causar el colapso de la presa?
B14	¿Podría un evento sísmico causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque el colapso de la presa?

Tabla II.3 - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Externo - Entorno del Depósito

ID	PELIGRO EXTERNO : ENTORNO DEL DEPÓSITO
C1	¿Podría el entorno del depósito (¿deslizamiento de tierra? ¿Escombros?) causar un evento meteorológico que haga que la presa sea sobrepasada / falle debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
C2	¿Podría el entorno del depósito hacer que no se sigan las reglas de operación que lleven a que la presa sea sobrepasada / falle?
C3	¿Podría el entorno del depósito causar un fallo funcional aleatorio en la demanda de la capacidad de descarga y provocar que la presa sea sobrepasada / falle?
C4	¿Podría el entorno del depósito causar la pérdida de la capacidad de descarga que lleva a que la presa sea sobrepasada / falle?
C5	¿Podría el entorno del depósito causar una elevación excesiva del embalse que provoque que la presa sea sobrepasada / falle?
C6	¿Podría el entorno del depósito conducir a un borde libre inadecuado para acomodar la disipación de las olas de viento que resulta en un sobrepasado / falla?
C7	¿Podría el entorno del depósito evitar que las actividades de seguridad de Presas (basadas en los requisitos de OMS) detecten / prevengan una insuficiencia hidráulica que provoque un sobrepasado / falla de la presa?
C8	¿Podría el entorno del depósito hacer que no se sigan las reglas de la OMS y provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
C9	¿Podría el entorno del depósito causar la inestabilidad externa de la presa que conduce al colapso de la presa?
C10	¿Podría el entorno del depósito (escombros, hielo, deslizamientos de tierra) causar fallas en los cimientos o estribos que causen el colapso de la presa?
C11	¿Podría el entorno del depósito (escombros, hielo y deslizamientos de tierra) causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos y reducir la estanqueidad del agua suficiente para provocar el colapso de la presa?
C12	¿Podría el entorno del depósito (deslizamientos de tierra, hielo, escombros) que provocan la pérdida del control de la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y reducir la estanqueidad y causar el colapso de la presa?
C13	¿Podría el entorno del depósito (deslizamientos de tierra, hielo, escombros) causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y provocar un colapso de la presa?

ID	PELIGRO EXTERNO : ENTORNO DEL DEPÓSITO
C14	¿Podría el entorno del depósito (deslizamientos de tierra, hielo y escombros) causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) y causar un colapso de la presa?

Tabla II.4- Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Barrera de Relaves

ID	PELIGRO INTERNO : BARRERA DE RELAVES
D1	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera del agua causar un evento meteorológico que provoque un desbordamiento / falla de la presa debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
D2	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar que no se sigan las reglas de operación y que la presa se sobrepase / falle?
D3	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar una falla funcional aleatoria de la capacidad de derrame y hacer que la presa sea sobreexpasada / falla?
D4	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar que la capacidad de descarga no se mantenga / retenga y que la presa sea sobreexpasada / falla?
D5	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba y causar que la presa sea sobreexpasada / falla?
D6	¿El diseño o la construcción de la barrera de agua pueden causar una disipación inadecuada del borde libre y de las olas de viento provocando un sobreexpaso / falla?
D7	¿El funcionamiento inadecuado, el mantenimiento y la vigilancia no pueden detectar / prevenir la insuficiencia hidráulica y provocar una falla de la barrera de agua?
D8	¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados no logran evitar un desempeño deficiente de la presa y pueden provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
D9	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera contra el agua causar inestabilidad externa y provocar el colapso de la presa?
D10	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos y provocar el colapso de la presa?
D11	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos y reducir la estanqueidad suficiente para provocar el colapso de la presa?
D12	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y reducir la estanqueidad y provocar el colapso de la presa?
D13	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y provocar un colapso de la presa?
D14	¿Podría ocurrir el diseño o la construcción de la barrera de agua que cause un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) y provocar un colapso de la presa?

Tabla II.5. - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Estructura Hidráulica

ID	PELIGRO INTERNO : ESTRUCTURA HIDRÁULICA
E1	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un flujo meteorológico mayor que la capacidad de salida del búnker y hacer que la presa sea sobreexpasada / falle?
E2	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica hacer que no se sigan las reglas de operación y provocar un colapso de la presa por sobreexpaso?
E3	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga y hacer que la presa sea sobreexpasada / falle debido a una capacidad de descarga disponible inadecuada?

ID	PELIGRO INTERNO : ESTRUCTURA HIDRÁULICA
E4	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar la pérdida de la capacidad de descarga y hacer que la presa se desborde / falle debido a una capacidad de descarga disponible inadecuada?
E5	¿El diseño o la construcción de la estructura hidráulica puede causar una elevación excesiva debido a un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba que lleva a la presa a ser sobrepasada / fallada debido a un borde libre inadecuado?
E6	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una disipación inadecuada de las olas de viento que provoque un colapso de la presa por sobreceso?
E7	¿Es posible que una operación, mantenimiento y vigilancia inadecuados no detecten / eviten la idoneidad hidráulica y provoquen fallas en la estructura hidráulica?
E8	¿El funcionamiento inadecuado, el mantenimiento y la vigilancia de la estructura hidráulica no logran evitar un rendimiento deficiente de la presa y provocar su colapso por pérdida de resistencia?
E9	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una inestabilidad externa que provoque el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
E10	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos y provocar un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
E11	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos que causan el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
E12	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un fallo en el control de la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y provocar un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
E13	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) que provoque el colapso de la presa?
E14	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque el colapso de la presa?

Tabla II.6. - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Instalaciones Eléctricas / Mecánicas

ID	PELIGRO INTERNO: INSTALACIONES ELÉCTRICAS / MECÁNICAS
F1	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar un flujo meteorológico mayor que la capacidad de salida del búfer y llevar a la presa a desbordarse / fallar debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
F2	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar que no se sigan las reglas de operación que llevan a un sobreceso / falla de la presa?
F3	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una falla funcional aleatoria en la demanda que provoque un colapso de la presa por sobreceso?
F4	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar que la capacidad de descarga no se mantenga o retenga, lo que ocasiona el colapso de la presa por desbordamiento?
F5	¿El diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos pueden causar una elevación excesiva debido a un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba que lleva a un colapso de la presa por sobreceso?
F6	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una disipación inadecuada de las ondas de viento que provoque el colapso de la presa por sobreceso?
F7	¿Es posible que la operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados no detecten / eviten fallas en el sistema mecánico / eléctrico que causa el colapso de la presa por sobreceso?
F8	¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados de los sistemas mecánicos / eléctricos no logran evitar el desempeño deficiente de las presas y provocar su colapso por pérdida de resistencia?
F9	¿El diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos pueden causar inestabilidad externa y provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?

ID	PELIGRO INTERNO: INSTALACIONES ELÉCTRICAS / MECÁNICAS
F10	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos que conduzcan al colapso de la presa por pérdida de resistencia?
F11	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar filtraciones alrededor de las interfaces / pilares / cimientos que causan el colapso de las presas por pérdida de resistencia?
F12	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y reducir la estanqueidad y causar el colapso de la presa?
F13	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) que provoque el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
F14	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque un colapso de la presa por pérdida de resistencia?

Tabla II.7. - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Infraestructura y Planes Inadecuados

ID	PELIGRO INTERNO : INFRAESTRUCTURA Y PLANES INADECUADOS
G1	¿La infraestructura y los planes inadecuados podrían provocar un flujo de entrada meteorológico mayor que la capacidad de salida del búfer y conducir a que la presa sea sobre pasada / falle debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
G2	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una operación inadecuada del depósito que lleve a un colapso de la presa por sobre paso?
G3	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar fallas funcionales aleatorias en la demanda, que lleve al colapso de la presa por sobre paso?
G4	¿La infraestructura y los planes inadecuados podrían hacer que la capacidad de descarga no se mantenga o retenga, lo que provocaría el colapso de las presas por desbordamiento?
G5	¿La infraestructura y / o los planes inadecuados pueden hacer que la presa falle debido a un deslizamiento de tierra del embalse o una falla de la presa aguas arriba?
G6	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una disipación inadecuada de las olas de viento que provoque el colapso de la presa por sobre paso?
G7	¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuada de la infraestructura y los planes pueden hacer que las actividades de la OMS no detecten / prevengan la insuficiencia hidráulica antes de provocar un desbordamiento / falla de la presa?
G8	¿La vigilancia y gestión inadecuada de la infraestructura y los planes pueden hacer que las actividades de la OMS no detecten / prevengan el colapso de las presas por pérdida de resistencia?
G9	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar inestabilidad externa que ocasione el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
G10	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos que llevan a un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
G11	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar filtración en las interfaces / pilares / cimientos y reducir la estanqueidad del agua suficiente para provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
G12	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y causar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
G13	¿La infraestructura y los planes inadecuados podrían causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y causar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
G14	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) y causar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?

ANEXO III:

Análisis complementarios en el depósito de Relaves Quiulacocha

ANEXO III.1:

Análisis Hidrológico Complementario.

ANEXO III.1			PARÁMETROS DE EVALUACIÓN COMPLEMENTARIOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS												
Estación:		CERRO DE PASCO													
Latitud:		10° 41' S				Departamento:		Pasco							
Longitud:		76° 15' O				Provincia:		Pasco							
Altura:		4260 m.s.n.m.				Distrito:		Chaupimarca							
REGISTROS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24H (mm)															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO		
1990	35.7	16.9	14.5	11.6	11.0	10.2	3.0	6.0	15.6	16.0	26.5	40.0	40.0		
1991	18.2	16.9	21.5	10.0	12.0	16.0	6.7	0.7	16.0	22.0	27.0	10.5	27.0		
1992	11.6	9.6	15.0	19.4	2.8	7.0	1.4	12.3	23.0	12.0	5.3	S/D	23.0		
1993	S/D	17.1	18.6	18.5	16.0	1.0	8.5	16.6	13.0	36.0	26.3	21.5	36.0		
1994	28.6	19.0	21.0	24.4	13.0	12.3	15.0	15.1	12.3	18.5	20.4	16.5	28.6		
1995	11.4	25.1	22.8	15.3	12.2	3.1	2.9	0.3	9.4	13.0	18.4	16.1	25.1		
1996	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D		
1997	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	7.7	24.5	22.6	21.9	S/D		
1998	12.1	30.5	13.7	18.5	5.2	5.5	0.0	1.5	5.7	19.7	15.8	9.6	30.5		
1999	38.0	31.7	14.7	25.8	7.3	4.8	4.3	3.3	10.7	16.1	16.6	16.5	38.0		
2000	18.0	17.3	18.3	6.5	9.4	2.8	4.5	8.2	7.1	14.3	12.7	22.6	22.6		
2001	29.4	24.3	24.0	23.7	10.9	2.0	11.5	6.0	7.9	19.1	16.6	28.0	29.4		
2002	8.0	19.4	26.8	15.5	13.5	3.0	10.4	3.5	13.7	24.1	12.6	22.3	26.8		
2003	14.5	19.4	20.7	18.1	8.3	7.0	4.6	10.0	20.7	6.0	20.0	13.1	20.7		
2004	12.7	31.2	11.4	16.9	6.0	4.0	8.6	7.9	27.5	22.5	26.8	33.2	33.2		
2005	15.4	20.0	46.7	17.4	2.9	2.8	4.1	4.5	6.0	12.8	29.1	9.0	46.7		
2006	9.8	17.5	16.2	19.1	3.9	17.0	2.7	4.0	21.8	21.3	27.3	24.6	27.3		
2007	15.5	16.0	18.4	14.2	16.0	0.0	8.0	4.4	10.5	16.0	20.6	26.7	26.7		
2008	16.6	18.5	8.0	12.5	5.4	7.3	3.2	10.4	10.0	10.4	29.4	25.0	29.4		
2009	26.0	19.0	39.2	11.4	12.0	12.0	8.2	12.4	5.1	20.0	31.4	29.5	39.2		
2010	25.7	24.3	35.9	14.5	17.0	2.0	4.4	0.0	7.5	24.0	13.8	30.8	35.9		
2011	20.5	16.3	20.8	24.4	12.0	0.0	6.3	9.0	14.0	16.0	22.7	24.0	24.4		
2012	20.0	20.7	15.0	12.0	7.8	6.5	3.5	5.2	16.8	25.4	18.0	24.6	25.4		
2013	25.8	15.0	20.3	14.0	15.0	5.8	8.0	11.0	17.6	20.5	11.6	16.0	25.8		
2014	26.2	19.8	20.0	24.7	7.3	10.0	7.0	2.6	20.6	15.0	17.5	25.6	26.2		
2015	15.0	10.0	18.0	15.2	10.3	9.0	9.0	7.4	18.4	17.3	25.1	15.4	25.1		
2016	18.0	16.5	20.6	12.4	8.2	7.1	6.7	13.0	9.0	S/D	S/D	S/D	20.6		
2017	20.6	28.0	15.0	15.4	13.2	0.5	6.5	4.0	12.0	15.4	19.0	18.0	28.0		
2018	17.0	11.0	17.0	19.0	8.0	3.6	7.0	8.0	25.0	30.0	16.0	51.0	51.0		
2019	59.0	43.0	45.0	24.0	15.0	4.5	6.0	8.0	17.0	30.2	30.0	60.0	60.0		
2020	20.2	39.0	S/D	S/D	S/D	0.0	18.0	8.0	S/D	S/D	S/D	S/D	39.0		

Promedio	23.2	21.6	22.6	17.3	11.2	8.5	7.8	10.8	16.1	20.4	21.6	24.9	32.9	
Desv. Est	10.2	8.1	8.9	5.4	5.6	7.9	5.6	10.2	8.3	7.4	7.2	10.8	8.9	
Máximo	59.0	43.0	46.7	28.0	35.0	35.0	30.0	50.0	44.0	38.0	43.0	60.0	60.0	
Mínimo	8.0	4.0	8.0	6.5	2.8	0.0	0.0	0.0	5.1	4.0	5.3	9.0	20.6	
Nº Datos	41	43	41	37	39	41	42	42	42	42	42	41	41	

S/D Sin Dato

Fuente: 1975-2016: SENAMHI // WEBSITE ANA

2017-2018: Data extraída del SENAMHI

2019-2020: Data extraída del SENAMHI

ANEXO III.1		PARÁMETROS DE EVALUACIÓN ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS				
Estación:	CERRO DE PASCO					
Latitud:	10° 41' S					Departamento: Pasco
Longitud:	76° 15' O					Provincia: Pasco
Altura:	4260 m.s.n.m.					Distrito: Chaupimarca
ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS Pmáx 24hr						

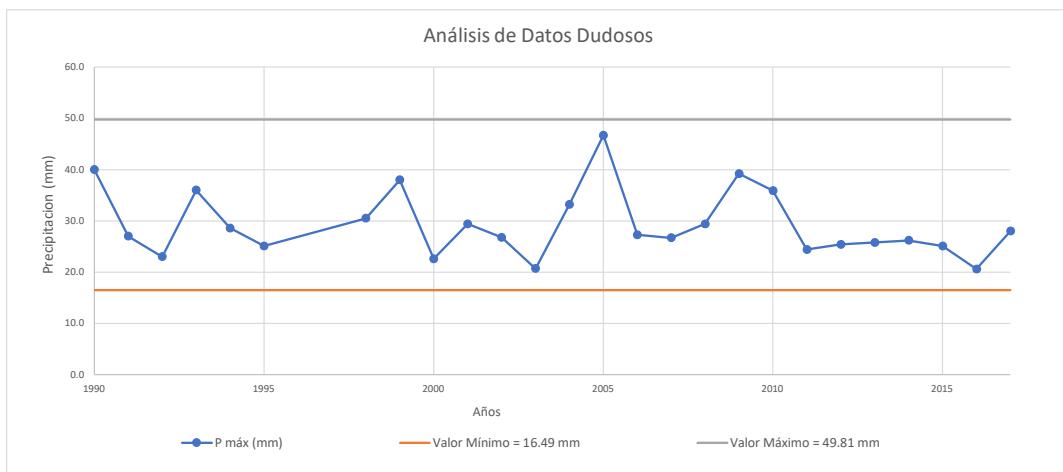
Año	Año	Estaciones				
		Precip (A)	(A/Pm - 1)^3	PL= Log (A)	Valor Mínimo	Valor Máximo
1	1990	40.0	0.049	1.60	Ok	Ok
2	1991	27.0	0.000	1.43	Ok	Ok
3	1992	23.0	-0.010	1.36	Ok	Ok
4	1993	36.0	0.012	1.56	Ok	Ok
5	1994	28.6	0.000	1.46	Ok	Ok
6	1995	25.1	-0.003	1.40	Ok	Ok
7	1998	30.5	0.000	1.48	Ok	Ok
8	1999	38.0	0.026	1.58	Ok	Ok
9	2000	22.6	-0.012	1.35	Ok	Ok
10	2001	29.4	0.000	1.47	Ok	Ok
11	2002	26.8	-0.001	1.43	Ok	Ok
12	2003	20.7	-0.025	1.32	Ok	Ok
13	2004	33.2	0.002	1.52	Ok	Ok
14	2005	46.7	0.210	1.67	Ok	Ok
15	2006	27.3	0.000	1.44	Ok	Ok
16	2007	26.7	-0.001	1.43	Ok	Ok
17	2008	29.4	0.000	1.47	Ok	Ok
18	2009	39.2	0.039	1.59	Ok	Ok
19	2010	35.9	0.011	1.56	Ok	Ok
20	2011	24.4	-0.005	1.39	Ok	Ok
21	2012	25.4	-0.002	1.40	Ok	Ok
22	2013	25.8	-0.002	1.41	Ok	Ok
23	2014	26.2	-0.001	1.42	Ok	Ok
24	2015	25.1	-0.003	1.40	Ok	Ok
25	2016	20.6	-0.026	1.31	Ok	Ok
26	2017	28.0	0.000	1.45	Ok	Ok

# de Registros	26.0
Promedio (Pm)	29.29
Desviación Estandar	6.48
Variabilidad de la muestra	0.22
Sesgo de la muestra	0.95
Media de logaritmo de registros (PLm)	1.46
Desviación standard de logaritmos de registros (SL)	0.09
Coeficiente al nivel de significación de 10% (K)	2.65
Valor Mínimo = 10^{YL}	16.49
Valor Mínimo (Yl)	1.2
Valor Máximo = 10^{YH}	49.81
Valor Máximo (Yh)	1.7

Tabla 1 valores de K_n para la prueba de datos dudosos							
Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.216	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.605	47	2.745	110	3.037
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente:

Elaboración propia



ANEXO III.1				ANÁLISIS DE FRECUENCIA ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24H															
Estación:		CERRO DE PASCO																	
Latitud:	10° 41' S				Departamento:		Pasco												
Longitud:	76° 15' O				Provincia:		Pasco												
Altura:	4260 m.s.n.m.				Distrito:		Chupimarca												
ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24H																			
Periodo de Retorno				Factor de Frecuencia				Tipo de Distribución											
Nº	Tr (años)	Prob	w	Z	KT Pearson III	KT Log Pearson III	KT GEV I	KT Gumbel	Normal	Log Normal	Pearson III	Log Pearson III	GEV I	Gumbel					
1	27.00	3.7%	2.57	1.787	2.105	1.986	2.105	2.504	41	42	43	43	43	46					
2	13.50	7.4%	2.28	1.446	1.574	1.532	1.549	1.854	39	39	40	39	39	41					
3	9.00	11.1%	2.10	1.221	1.249	1.251	1.218	1.466	37	37	37	37	37	39					
4	6.75	14.8%	1.95	1.044	1.010	1.037	0.977	1.185	36	36	36	36	36	37					
5	5.40	18.5%	1.84	0.896	0.818	0.861	0.786	0.981	35	35	35	34	34	36					
6	4.50	22.2%	1.73	0.764	0.655	0.710	0.627	0.775	34	34	34	33	33	34					
7	3.86	25.9%	1.64	0.645	0.513	0.576	0.488	0.613	33	33	33	32	32	33					
8	3.38	29.6%	1.56	0.535	0.386	0.454	0.365	0.469	33	32	32	32	32	32					
9	3.00	33.3%	1.48	0.430	0.270	0.342	0.254	0.338	32	31	31	31	31	31					
10	2.70	37.0%	1.41	0.330	0.163	0.236	0.151	0.218	31	31	30	30	30	30					
11	2.45	40.7%	1.34	0.234	0.062	0.136	0.055	0.105	31	30	30	29	29	30					
12	2.25	44.4%	1.27	0.139	-0.032	0.040	-0.036	-0.001	30	30	29	29	29	29					
13	2.08	48.1%	1.21	0.046	-0.123	0.053	-0.122	-0.102	30	29	28	28	28	29					
14	1.93	51.9%	1.15	-0.046	-0.210	-0.144	-0.206	-0.199	29	28	28	28	28	28					
15	1.80	55.6%	1.08	-0.139	-0.295	-0.233	-0.287	-0.294	28	28	27	27	27	27					
16	1.69	59.3%	1.02	-0.233	-0.377	0.321	-0.366	-0.387	28	27	27	27	27	27					
17	1.59	63.0%	0.96	-0.329	-0.459	-0.410	-0.445	-0.479	27	27	26	26	26	26					
18	1.50	66.7%	0.90	-0.428	-0.540	-0.500	-0.523	-0.571	27	26	26	26	26	26					
19	1.42	70.4%	0.84	-0.530	-0.621	-0.591	-0.603	-0.664	26	26	25	25	25	25					
20	1.35	74.1%	0.77	-0.639	-0.703	-0.685	-0.684	-0.759	25	25	25	25	25	24					
21	1.29	77.8%	0.71	-0.754	-0.787	-0.785	-0.768	-0.858	24	24	24	24	24	24					
22	1.23	81.5%	0.64	-0.881	-0.873	-0.888	-0.858	-0.962	24	24	24	24	24	23					
23	1.17	85.2%	0.57	-1.022	-0.965	-1.001	-0.954	-1.076	23	23	23	23	23	22					
24	1.13	88.9%	0.49	-1.186	-1.085	-1.128	-1.064	-1.204	22	22	22	22	22	21					
25	1.08	92.6%	0.39	-1.387	-1.178	-1.278	-1.196	-1.358	20	21	22	22	22	20					
26	1.04	96.3%	0.27	-1.669	-1.319	-1.476	-1.380	-1.573	18	20	21	21	20	19					

PRECIPITACIÓN A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO				Factor de Frecuencia								Tipo de Distribución					
Tr (años)	Prob	w	Z	KT Pearson III	KT Log Pearson III	KT GEV I	KT Gumbel	Normal*	Log Normal*	Pearson III*	Log Pearson III*	GEV I*	Gumbel*				
100000.00	0.0%	4.80	4.265	7.652	6.128	8.527	10.018	57	70	79	89	85	94				
10000.00	0.0%	4.29	3.719	6.153	5.079	6.731	7.917	53	62	69	73	73	81				
5000.00	0.0%	4.13	3.540	5.698	4.752	6.191	7.285	50	60	66	69	69	77				
2475.00	0.0%	3.95	3.350	5.233	4.415	5.642	6.643	51	58	63	65	66	72				
1000.00	0.1%	3.72	3.091	4.630	3.969	4.936	5.816	49	55	59	60	61	67				
500.00	0.2%	3.53	2.879	4.163	3.618	4.395	5.183	48	52	56	56	58	63				
200.00	0.5%	3.26	2.576	3.536	3.137	3.679	4.346	46	49	52	51	53	57				
100.00	1.0%	3.03	2.327	3.053	2.757	3.137	3.711	44	47	49	48	50	53				
50.00	2.0%	2.80	2.054	2.558	2.359	2.592	3.074	43	44	46	44	46	49				
25.00	4.0%	2.54	1.751	2.047	1.938	2.044	2.433	41	41	43	41	43	45				
10.00	10.0%	2.15	1.282	1.355	1.327	1.305	1.568	38	37	38	37	38	39				
5.00	20.0%	1.79	0.841	0.750	0.798	0.719	0.883	35	34	34	33	34	35				
2.00	50.0%	1.18	0.000	-0.167	-0.098	-0.164	-0.151	29	29	28	28	28	28				

Nota: * Para determinar las precipitaciones de diseño multiplicar por un factor de 1.13 según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994)

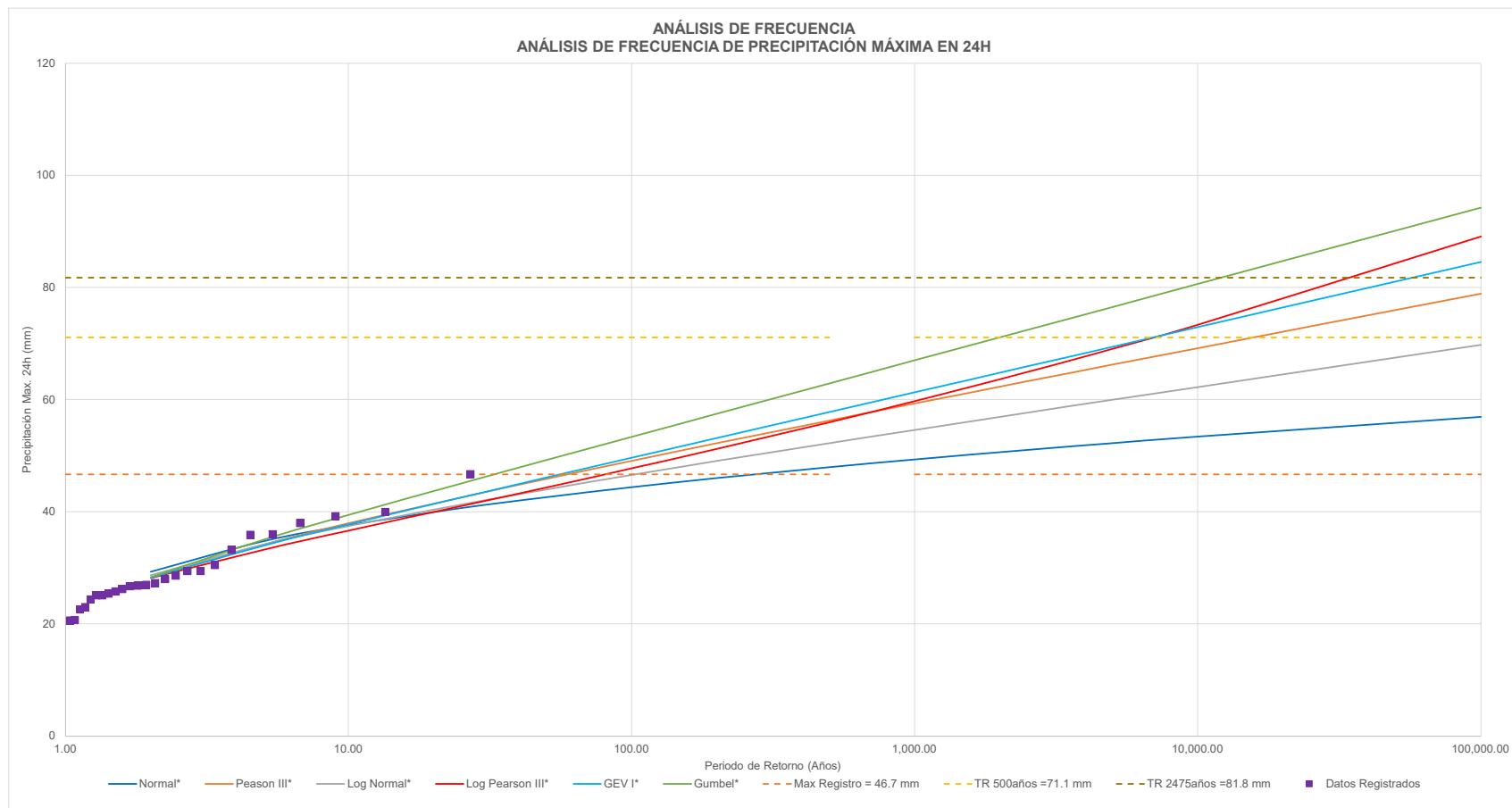
Fuente: Elaboración propia

PRECIPITACIÓN MÁXIMAS 24H PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Tr (años)	Pmáx24h (mm)	Pmáx24h (mm)
100000	94	107
10000	81	91
5000	77	86
2475	72	82
1000	67	76
500	63	71
200	57	65
100	53	60
50	49	56
25	45	51
10	39	45
5	35	40
2	28	32

Nota: * Considera el factor de 1.13 según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994).

ANEXO III.1		GRÁFICO DE FRECUENCIAS ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24H			
Estación:		CERRO DE PASCO			
Latitud:	10° 41' S	Departamento:			Pasco
Longitud:	76° 15' O	Provincia:			Pasco
Altura:	4260 m.s.n.m.	Distrito:			Chauquimarcas
ANALISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACION MÁXIMA 24H					



ANEXO III.1				PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24H														
Estación:		CERRO DE PASCO																
Latitud:	10° 41' S	Departamento:		Pasco														
Longitud:	76° 15' O	Provincia:		Pasco														
Altura:	4260 m.s.n.m.	Distrito:		Chapimarca														

Nº	Pp (mm)	Distribución Normal				Distribución Log Normal				Log Pearson III				GEV I				Gumbel					
		P(x)	Z	F(z)	Δ = F(z) - P(x)	Ln(Pp)	P(x)	Z	F(Z)	Δ = F(z) - P(x)	Log(Pp)	P(x)	K	F(z)	Δ = F(z) - P(x)	P(x)	Y	G(Y)	Δ = G(Y) - P(x)	P(x)	Z	F(z)	Δ = F(z) - P(x)
1	20.60	0.04	-1.34	0.09	0.05	3.03	0.04	-1.58	0.06	0.02	1.31	0.04	-1.58	0.03	0.01	0.04	-1.14	0.04	0.01	0.04	-0.94	0.08	0.04
2	20.70	0.07	-1.33	0.09	0.02	3.03	0.07	-1.56	0.06	0.01	1.32	0.07	-1.56	0.03	0.04	0.07	-1.12	0.05	0.03	0.07	-0.92	0.08	0.01
3	22.60	0.11	-1.03	0.15	0.04	3.12	0.11	-1.14	0.13	0.02	1.35	0.11	-1.14	0.12	0.01	0.11	-0.75	0.12	0.01	0.11	-0.60	0.16	0.05
4	23.00	0.15	-0.97	0.17	0.02	3.14	0.15	-1.06	0.15	0.00	1.36	0.15	-1.06	0.14	0.00	0.15	-0.67	0.14	0.01	0.15	-0.53	0.18	0.03
5	24.40	0.19	-0.75	0.23	0.04	3.19	0.19	-0.77	0.22	0.03	1.39	0.19	-0.77	0.24	0.05	0.19	-0.39	0.23	0.04	0.19	-0.29	0.26	0.08
6	25.10	0.22	-0.65	0.26	0.04	3.22	0.22	-0.64	0.26	0.04	1.40	0.22	-0.64	0.29	0.07	0.22	-0.25	0.28	0.05	0.22	-0.18	0.30	0.08
7	25.10	0.26	-0.65	0.26	0.00	3.22	0.26	-0.64	0.26	0.00	1.40	0.26	-0.64	0.29	0.03	0.26	-0.25	0.28	0.02	0.26	-0.18	0.30	0.04
8	25.40	0.30	-0.60	0.27	0.02	3.23	0.30	-0.58	0.28	0.02	1.40	0.30	-0.58	0.31	0.02	0.30	-0.19	0.30	0.00	0.30	-0.13	0.32	0.03
9	25.80	0.33	-0.54	0.30	0.04	3.25	0.33	-0.50	0.31	0.03	1.41	0.33	-0.50	0.34	0.01	0.33	-0.11	0.33	0.01	0.33	-0.06	0.35	0.01
10	26.20	0.37	-0.48	0.32	0.05	3.27	0.37	-0.43	0.33	0.04	1.42	0.37	-0.43	0.37	0.00	0.37	-0.03	0.36	0.02	0.37	0.01	0.37	0.00
11	26.70	0.41	-0.40	0.34	0.06	3.28	0.41	-0.34	0.37	0.04	1.43	0.41	-0.34	0.41	0.00	0.41	0.06	0.39	0.02	0.41	0.09	0.40	0.01
12	26.80	0.44	-0.39	0.35	0.09	3.29	0.44	-0.32	0.37	0.07	1.43	0.44	-0.32	0.41	0.03	0.44	0.08	0.40	0.05	0.44	0.11	0.41	0.04
13	27.00	0.48	-0.35	0.36	0.12	3.30	0.48	-0.29	0.39	0.09	1.43	0.48	-0.29	0.43	0.06	0.48	0.12	0.41	0.07	0.48	0.14	0.42	0.06
14	27.30	0.52	-0.31	0.38	0.14	3.31	0.52	-0.23	0.41	0.11	1.44	0.52	-0.23	0.45	0.07	0.52	0.18	0.43	0.08	0.52	0.20	0.44	0.08
15	28.00	0.56	-0.20	0.42	0.13	3.33	0.56	-0.11	0.46	0.10	1.45	0.56	-0.11	0.49	0.06	0.56	0.32	0.48	0.07	0.56	0.31	0.48	0.07
16	28.60	0.59	-0.11	0.46	0.14	3.35	0.59	-0.01	0.50	0.10	1.46	0.59	-0.01	0.53	0.06	0.59	0.44	0.53	0.07	0.59	0.41	0.52	0.08
17	29.40	0.63	0.02	0.51	0.12	3.38	0.63	0.12	0.55	0.08	1.47	0.63	0.12	0.57	0.06	0.63	0.60	0.58	0.05	0.63	0.55	0.56	0.07
18	29.40	0.67	0.02	0.51	0.16	3.38	0.67	0.12	0.55	0.12	1.47	0.67	0.12	0.57	0.09	0.67	0.60	0.58	0.09	0.67	0.55	0.56	0.10
19	30.50	0.70	0.19	0.57	0.13	3.42	0.70	0.30	0.62	0.09	1.48	0.70	0.30	0.63	0.07	0.70	0.82	0.64	0.06	0.70	0.74	0.62	0.08
20	33.20	0.74	0.60	0.73	0.01	3.50	0.74	0.70	0.76	0.02	1.52	0.74	0.70	0.77	0.03	0.74	1.35	0.77	0.05	0.74	1.19	0.74	0.00
21	35.90	0.78	1.02	0.85	0.07	3.58	0.78	1.08	0.86	0.08	1.56	0.78	1.08	0.85	0.07	0.78	1.88	0.86	0.08	0.78	1.65	0.83	0.05
22	36.00	0.81	1.03	0.85	0.03	3.58	0.81	1.09	0.86	0.05	1.56	0.81	1.09	0.85	0.04	0.81	1.90	0.86	0.05	0.81	1.67	0.83	0.01
23	38.00	0.85	1.34	0.91	0.06	3.64	0.85	1.35	0.91	0.06	1.58	0.85	1.35	0.90	0.05	0.85	2.30	0.90	0.05	0.85	2.00	0.87	0.02
24	39.20	0.89	1.53	0.94	0.05	3.67	0.89	1.50	0.93	0.04	1.59	0.89	1.50	0.92	0.03	0.89	2.54	0.92	0.04	0.89	2.21	0.90	0.01
25	40.00	0.93	1.65	0.95	0.02	3.69	0.93	1.60	0.94	0.02	1.60	0.93	1.60	0.93	0.00	0.93	2.70	0.93	0.01	0.93	2.34	0.91	0.02
26	46.70	0.96	2.68	1.00	0.03	3.84	0.96	2.34	0.99	0.03	1.67	0.96	2.34	0.98	0.02	0.96	4.02	0.98	0.02	0.96	3.47	0.97	0.01

S _y	6.48	0.21	0.09	6.48	6.48
C _s	-	-	0.60	5.06	5.92
μ	-	-	-	26.37	26.15
D _{max}	0.16	0.12	0.09	0.09	0.08
D _{critico}	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
D _{critico > D_{max}}	OK	OK	OK	OK	OK

Fuente:
Elaboración propia

ANEXO III.1		PARÁMETROS DE EVALUACIÓN - 24 hr ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE			
Estación:	CERRO DE PASCO				
Latitud:	10° 41' S	Departamento:	Pasco		
Longitud:	76° 15' O	Provincia:	Pasco		
Altura:	4260 m.s.n.m.	Distrito:	Chaupimarca		
DETERMINAR LA MEDIA (Xn) Y LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Sn) DE VALORES DIARIOS OBSERVADOS					

AÑO	Pmax 24 horas sin corrección (mm)	Pmax 24 horas con ajuste WMO (mm)
1990	40	45
1991	27	31
1992	23	26
1993	36	41
1994	29	32
1995	25	28
1998	31	34
1999	38	43
2000	23	26
2001	29	33
2002	27	30
2003	21	23
2004	33	38
2005	47	53
2006	27	31
2007	27	30
2008	29	33
2009	39	44
2010	36	41
2011	24	28
2012	25	29
2013	26	29
2014	26	30
2015	25	28
2016	21	23
2017	28	32
Contador	26.0	26.0
Promedio (Xn-m)	29.3	33.1
Desv. Est (Sn-m)	6.5	7.3

1.13% rainfall adjustment follows the procedure given in Manual for estimation of maximum precipitation (Hershfield, 1986).

Reference:

Hershfield, DM (1986. Manual for estimation of probable maximum precipitation Operational Hydrology, report 1, WMO-No. 332, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.

ANEXO III.1		PARÁMETROS DE EVALUACIÓN - 24 hr ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE			
Estación:		CERRO DE PASCO			
Latitud:	10° 41' S	Departamento:	Pasco		
Longitud:	76° 15' O	Provincia:	Pasco		
Altura:	4260 m.s.n.m.	Distrito:	Chaupimarca		
DETERMINAR LA MEDIA (Xn-m) Y LA DESVIACIÓN ESTANDAR (Sn-m) EXCLUYENDO EL MAXIMO VALOR DE REGISTRO					

Valores excluidos	46.7	52.8
-------------------	------	------

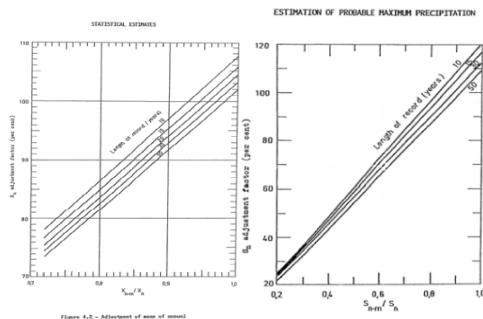
AÑO	Pmax 24 horas sin corrección (mm)	Pmax 24 horas con ajuste WMO (mm)
1990	40	45
1991	27	31
1992	23	26
1993	36	41
1994	29	32
1995	25	28
1998	31	34
1999	38	43
2000	23	26
2001	29	33
2002	21	30
2003	21	23
2004	33	38
2005		
2006	27	31
2007	27	30
2008	29	33
2009	39	44
2010	36	41
2011	24	28
2012	25	29
2013	26	29
2014	26	30
2015	25	28
2016	21	23
2017	28	32
Contador	25.0	25.0
Promedio (Xn-m)	28.6	32.3
Dsv. Est (Sn-m)	5.5	6.3

**CALCULAR EL FACTOR DE AJUSTE DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN ESTANDAR.
ESTO SE DESARROLLA DE ACUERDO A GRÁFICOS EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE REGISTROS**

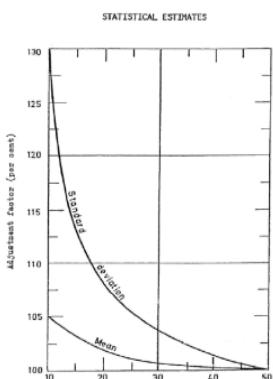
Estimación de factores

$$\begin{aligned} (Xn-m)/(Xn) &= 0.98 \\ (Sn-m)/(Sn) &= 0.85 \end{aligned}$$

Para Diagramas de estimaciones estadísticas, el ajuste de Xn 101.64
Para Diagramas de precipitación máxima probable, el ajuste de Xn 96.72



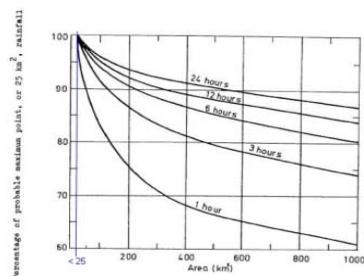
ANEXO III.1		PARÁMETROS DE EVALUACIÓN - 24 hr ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PROBABLE			
Estación:		CERRO DE PASCO			
Latitud:	10° 41' S		Departamento:	Pasco	
Longitud:	76° 15' O		Provincia:	Pasco	
Altura:	4260 m.s.n.m.		Distrito:	Chaupimarca	
CALCULAR EL FACTOR DE Xn Y Sn BASADOS EN EL TAMAÑO DE LA MUESTRA					



Tamaño de la Muestra: 26

Factor de Ajuste para Xn	101.0
Factor de Ajuste para Sn	105.0

DETERMINAR EL FACTOR DE REDUCCIÓN DE LA PMP POR DIVISIÓN DE LA CUENCA PRINCIPAL
SI EL AREA DE DRENAGE ES MENOS QUE 25 KM² NO SE REQUIERE REDUCCIÓN DE AREA

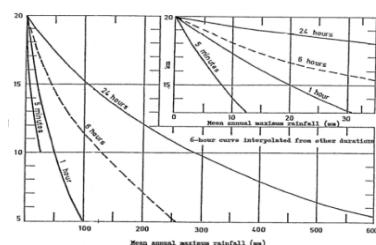


Nota:
Al ser menor de 25km², no es
necesaria hacer la corección.

Area de Drenaje < 25 Km²
El factor de Area es : 100.00 %

DETERMINAR EL FACTOR KM (24 HORAS) PARA LA ESTIMACION DEL PMP

ESTIMATION OF PROBABLE MAXIMUM PRECIPITATION



La Media es 33.1 mm.
El valor de Km es : 18.1

CALCULO DE LA PMP

$$X_m = X_n + K_m \cdot S_n$$

Valor de media ajustada	Xn	34.0
PMP Factor de estimación	Km	18.1
Ajuste de la des est	Sn	7.4

PMP (Xm) 169

Fuente:

Elaboración propia

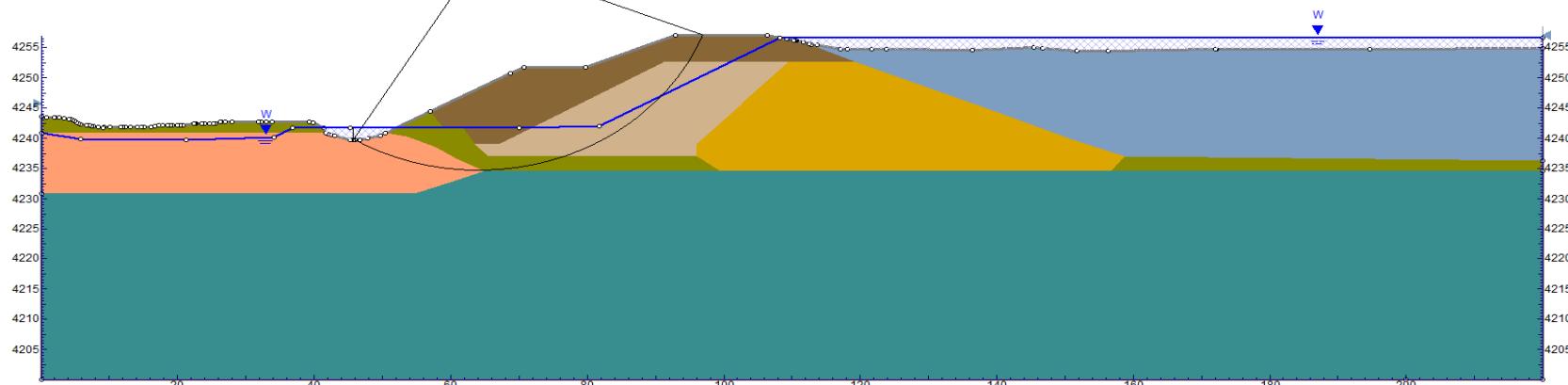
ANEXO III.2:

Análisis Geotécnico Complementario.



ANEXO III.2	ANÁLISIS GEOTÉCNICO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD COMPLEMENTARÍA
RELAVERA	DEPÓSITO DE RELAVES QUIULACOCHA

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Vertical Stress Ratio
Cimentación (Intercalación de estratos de arena limosa): SM, SP-SM SW-SM		22	Mohr-Coulomb	10	33	
Cimentación: Arena Limosa (SM)		17	Mohr-Coulomb	20	27	
Dique Inicial : Intercalación de Material Granular (GM/GC/SM)		21	Mohr-Coulomb	20	32	
Arcilla de Baja Plasticidad (CL)		17	Mohr-Coulomb	34	11.6	
Material de Recrecimiento: Arena Limosa (SM)		19	Mohr-Coulomb	14	30	
Material Recrecimiento: Grava Arcillosa (GC)		22	Mohr-Coulomb	24	33	
Relieve Estático :ML		19	Strength=F(overburden)			0.26



FoS=1.93

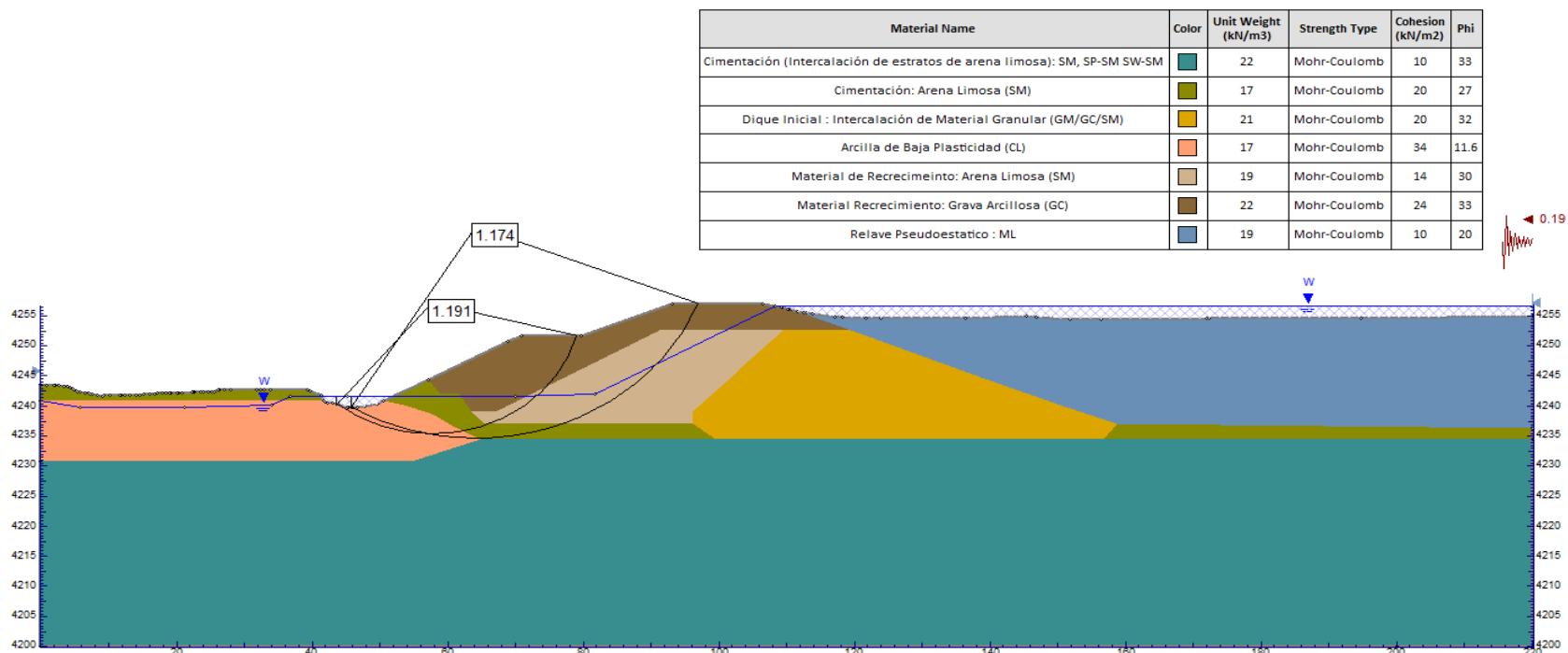
ANEXO III.2

ANÁLISIS GEOTÉCNICO
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD COMPLEMENTARÍA

RELAVERA

DEPÓSITO DE RELAVES QUIULACOCHA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO (TR500-Kh=0.19) - SECCIÓN A-A



ANEXO III.2

ANÁLISIS GEOTÉCNICO
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD COMPLEMENTARIA

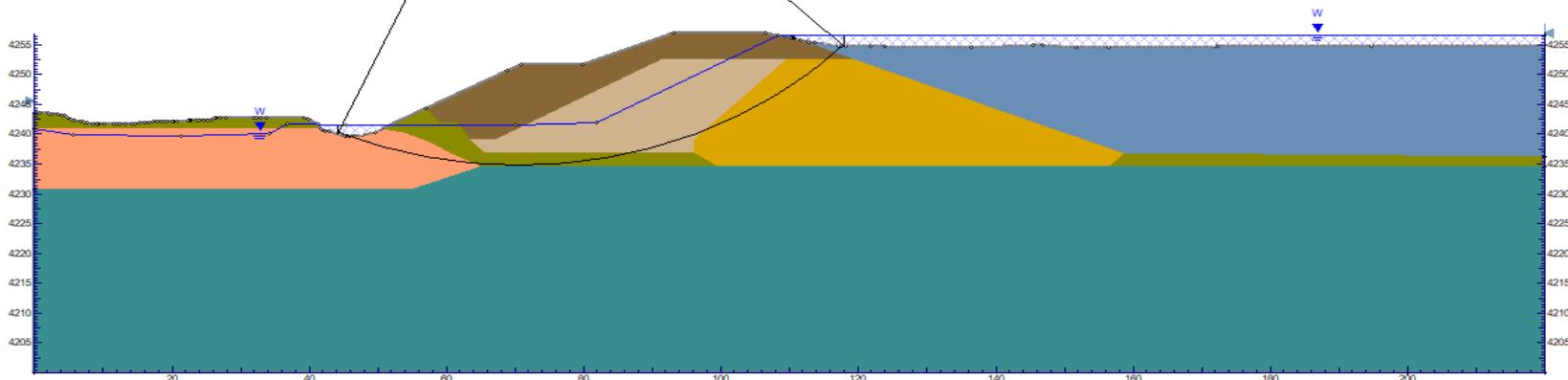
RELAVERA

DEPÓSITO DE RELAVES QUIULACOCHA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO (TR1000-Kh=0.25) - SECCIÓN A-A

1.033

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi
Cimentación (Intercalación de estratos de arena limosa): SM, SP-SM SW-SM	Teal	22	Mohr-Coulomb	10	33
Cimentación: Arena Limosa (SM)	Dark Green	17	Mohr-Coulomb	20	27
Dique Inicial : Intercalación de Material Granular (GM/GC/SM)	Yellow	21	Mohr-Coulomb	20	32
Arcilla de Baja Plasticidad (CL)	Orange	17	Mohr-Coulomb	34	11.6
Material de Recrecimiento: Arena Limosa (SM)	Brown	19	Mohr-Coulomb	14	30
Material Recrecimiento: Grava Arcillosa (GC)	Brown	22	Mohr-Coulomb	24	33
Relave Pseudoestático : ML	Blue	19	Mohr-Coulomb	10	20

FoS=1.03

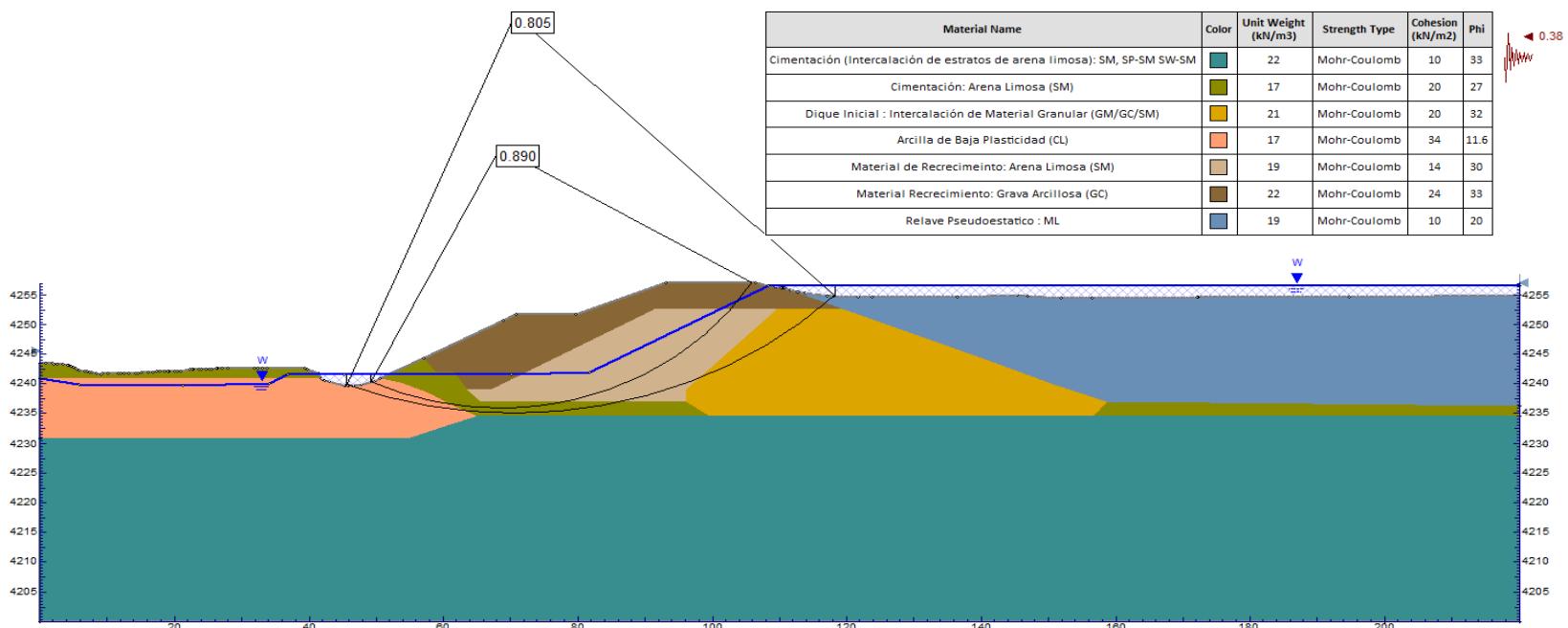
ANEXO III.2

ANÁLISIS GEOTÉCNICO
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD COMPLEMENTARIA

RELAVERA

DEPÓSITO DE RELAVES QUIULACOCHA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO (MCE-Kh=0.38) - SECCIÓN A-A



ANEXO III.2

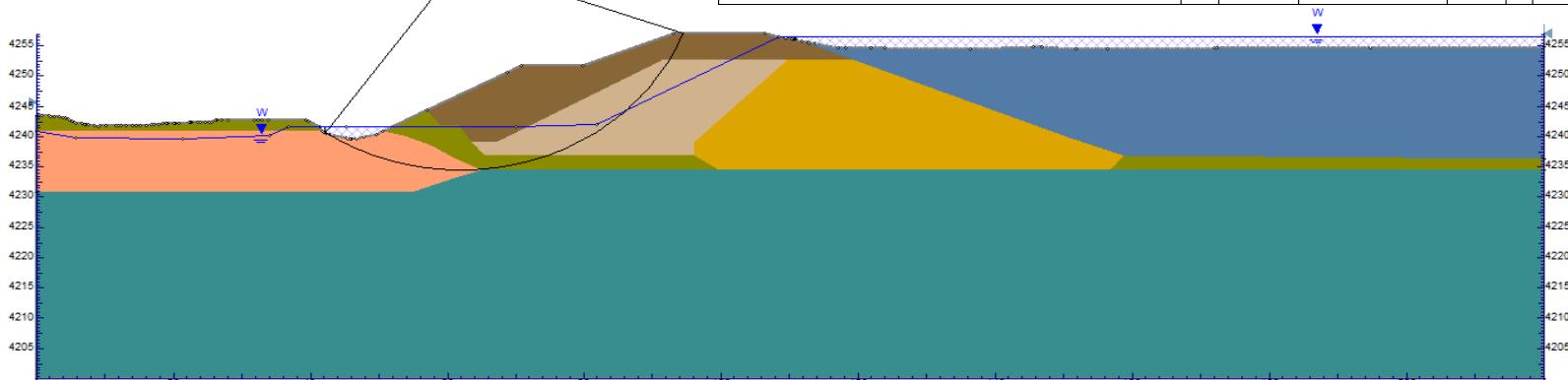
ANÁLISIS GEOTÉCNICO
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD COMPLEMENTARÍA

RELAVERA

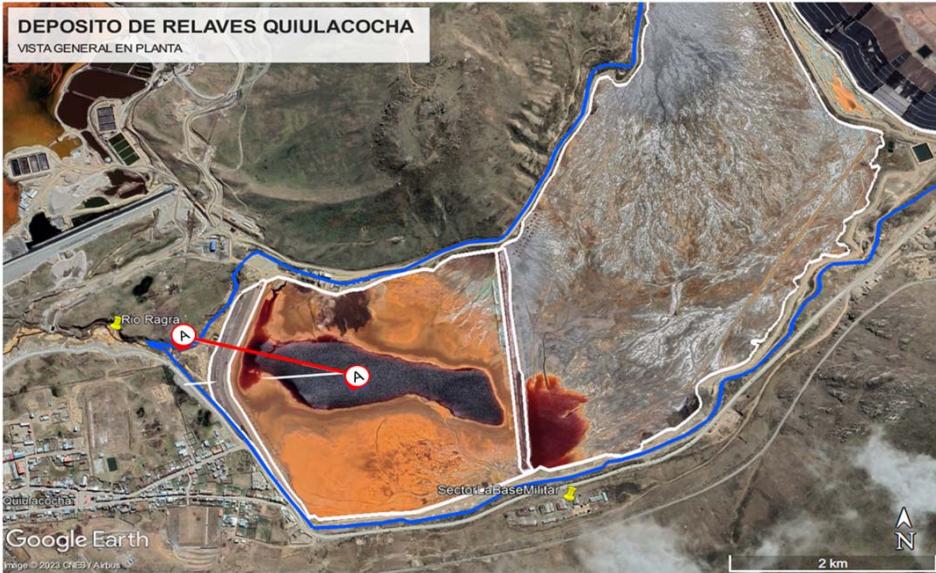
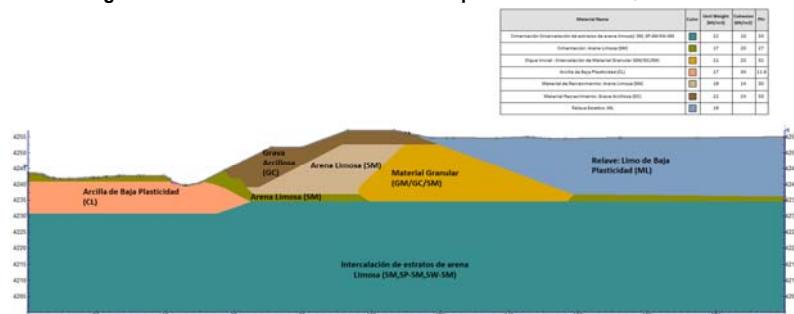
DEPÓSITO DE RELAVES QUIULACOCHA

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD - ANÁLISIS POSTSISMICO - SECCIÓN A-A

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m³)	Strength Type	Cohesion (kN/m²)	Phi	Vertical Stress Ratio
Cimentación (Intercalación de estratos de arena limosa): SM, SP-SM SW-SM	22	22	Mohr-Coulomb	10	33	
Cimentación: Arena Limosa (SM)	17	17	Mohr-Coulomb	20	27	
Dique Inicial : Intercalación de Material Granular (GM/GC/SM)	21	21	Mohr-Coulomb	20	32	
Arcilla de Baja Plasticidad (CL)	17	17	Strength=F(overburden)			0.14
Material de Recrecimiento: Arena Limosa (SM)	19	19	Mohr-Coulomb	14	30	
Material Recrecimiento: Grava Arcillosa (GC)	22	22	Mohr-Coulomb	24	33	
Relave Postseísmico	19	19	Strength=F(overburden)			0.08

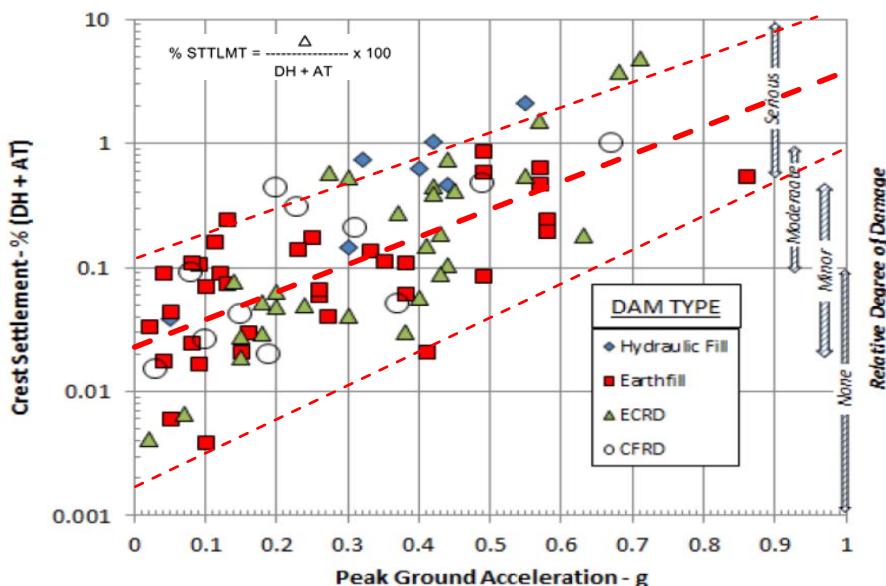


FoS=1.5

ANEXO III.2	TÍTULO	ASENTAMIENTO DE LA PRESA POR DEFORMACION SISMICA				
Datos de Ingreso		Unidades	Fuente			
Cota de Cresta	4256.80	msnm	Topografía Disponible			
Cota de Cimentacion	4235.00	msnm	AMSA			
Nivel de Roca	4232.00	msnm	AMSA			
Altura de la Presa	21.80	m	Topografía Disponible			
Profundidad de la roca de fundacion	3.00	m	AMSA			
Magnitud de Sismo	8.00		AMSA			
						
Figura III.1 - Vista General en Planta del Depósito de Relaves Quiulacocha						
						
Figura III.2 - Perfil Sección Crítica de Análisis (A-A')						
Cuadro III.1. Resultados Análisis Peligro Sísmico Determinístico para la zona de evaluación - Fuente: ZER (2021)						
Evento	Percentil	Sa 0.00 s (g)				
Sismo Intraplaca Mw=8.0 X= 50 km	P.50	0.35				
Z=96 km	P.84(*)	0.76				
* Sismo Máximo Creíble (MCE, por sus siglas en inglés)						
Cuadro III.2. Resultados Análisis Peligro Sísmico Probabilístico para la zona de evaluación - Fuente: ZER (2021)						
Sitio	Periodo de Retorno	PGA (g)				
Depósito de Relaves Quiulacocha	100	0.19				
	250	0.29				
	475	0.38				
	1000	0.50				
	2475	0.68				
	5000	0.84				
	10000	1.03				

ASENTAMIENTO EN CORONAMIENTO METODO SWAISGOOD (2003 - ACTUALIZADO 2013)

Gráfico III.1 - Asentamiento en coronamiento en función del PGA (Swaisgood,2013)



Cuadro III.1 - Asentamiento en coronamiento en función del PGA (Swaisgood,2013)

PR (años)	PGA (g)	% STTLM			DH+AT
		% Min	% Media	% Máx	
475.00	0.38	0.02	0.15	0.60	24.80
2475.00	0.68	0.12	0.65	2.80	24.80
MCE	0.76	0.20	1.10	3.90	24.80

Cuadro III.1 - Severidad de Daños en función del PGA (Swaisgood,2013)

PR (años)	ΔMin	ΔMedio	ΔMax	SEVERIDAD DAÑOS
	m	m	m	
475.00	0.00	0.04	0.15	Moderado a Serio
2475.00	0.03	0.16	0.69	Serio
MCE	0.05	0.27	0.97	Serio

Gráfico D.2 - Asentamiento en coronamiento en función del PGA (Swaisgood,2013)

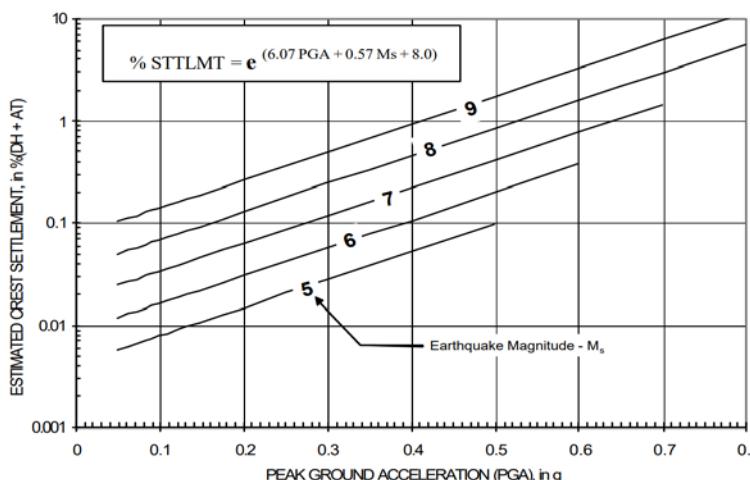


Table 1. Damage versus crest settlement from historic earthquake response (Swaisgood, 2003)

Crest Settlement (% of DH + AT)	Damage Rating
>0.5%	Serious
0.1% to 1%	Moderate
0.02% to 0.5%	Minor
<0.1%	None

Note: DH = dam height, AT = alluvium depth in foundation

Cuadro III.1 - Severidad de coronamiento en función del PGA (Swaisgood,2013)

PR (años)	PGA (g)	% STTLM	DH+AT	ΔMax	SEVERIDAD DAÑOS	
					Δ - (m)	Δ - (m)
475	0.377	0.32	24.8	0.08	Ninguna a Menor	Serious
2475	0.679	1.98	24.8	0.49	Menor a Moderado	Moderate
MCE	0.759	3.21	24.8	0.80	Moderado a Serio	Serio

Cuadro III.1 - Asentamiento en coronamiento en función del PGA (Swaisgood,2013)

Descripción	TR 475	TR 2475	MCE
	Δ - (m)	Δ - (m)	Δ - (m)
Asentamiento por tipo de presa	0.1	0.7	1.0
Asentamiento por Magnitud de Sismo	0.1	0.5	0.8
Asentamiento Máximo - Swaisgood	0.1	0.7	1.0

J. R. Swaisgood, P.E., C.P.G., 2013

J. R. Swaisgood, P.E., C.P.G., 2013

ANEXO IV:

Respuestas asociadas a los Peligros y Mecanismos de Falla en el análisis del depósito de Relaves Quiulacocha.

Tabla IV.1 - Evaluación Relacionadas al Peligro Externo - Meteorológico

ID	Descripción	PELIGRO EXTERNO : METEOROLÓGICO
A1	Pregunta	¿Podría un evento meteorológico hacer que el flujo de entrada sea mayor que la capacidad de flujo de salida y provocar un desbordamiento / falla de la presa debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
	Respuesta	Sí. Actualmente el depósito de relaves no cuenta con un vertedero de descarga, además cuenta con un volumen de retención total hasta la cota de corona de 0.53 Mm ³ ; sin embargo, cuando llegue una avenida máxima probable (1.1Mm ³) o un evento meteorológico para un periodo de retorno de 1000 años, esta capacidad de retención será insuficiente por lo que sobrepasara el nivel de la corona de dique, provocando su falla por sobreceso (overtopping).
A2	Pregunta	¿La presa podría ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si no se siguen las reglas de operación?
	Respuesta	Si. Actualmente no se cuenta con un vertedero de emergencias, sin embargo, cuentan con un sistema de bombeo que tiene la capacidad de evacuación de 10 200 m ³ /día, esta capacidad al tener un borde libre de 1 m sería insuficiente para mantener el nivel por debajo de la cota de la corona cuando se produzcan avenidas superiores a un periodo de retorno de 500 años. Una inadecuada operación podría complicar la situación y desencadenaría una falla por overtopping.
A3	Pregunta	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si hay una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga?
	Respuesta	Si. Actualmente no se cuenta con un vertedero de emergencias, sin embargo, cuentan con un sistema de bombeo que tiene la capacidad de evacuación de 10 200 m ³ /día, esta capacidad al tener un borde libre de 1 m sería insuficiente para mantener el nivel por debajo de la cota de la corona cuando se produzcan avenidas superiores a un periodo de retorno de 500 años. Que exista una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga complicaría la situación y desencadenaría una falla por overtopping.
A4	Pregunta	¿La presa podría ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico si la capacidad de descarga no es mantenida?
	Respuesta	Si. Actualmente no se cuenta con un vertedero de emergencias, sin embargo, cuentan con un sistema de bombeo que tiene la capacidad de evacuación de 10 200 m ³ /día (425 m ³ /h), esta capacidad al tener un borde libre de 1 m sería insuficiente para mantener el nivel por debajo de la cota de la corona cuando se produzcan avenidas superiores a un periodo de retorno de 500 años. Que la capacidad de descarga no sea mantenida complicaría la situación y desencadenaría una falla por overtopping.
A5	Pregunta	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico debido a un deslizamiento de tierra en el embalse o una falla de la presa aguas arriba?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con un depósito de desmontes en cierre (Excelsior) la falla de este depósito no implicaría la falla del dique principal, además los peligros relacionados al entorno del reservorio se analizarán en los casos C1 al C14.
A6	Pregunta	¿Podría la presa ser sobrepasada / fallar durante un evento meteorológico debido a la inadecuada disipación de las olas generadas por el viento?
	Respuesta	Si. Actualmente las olas generadas en una operación normal, donde el lago de agua se encuentra en la cota 4255.8, podrían producir olas de 0.9 m para vientos de un periodo de retorno de 1000 años, si a esto se le suma un evento meteorológico con periodos de retorno mayores a 200 años el nivel de agua superaría la cota del lago de la corona. Actualmente el depósito de relaves cuenta con un inadecuado borde libre.
A7	Pregunta	¿Podría un evento meteorológico impedir que las actividades de los Ingenieros de Seguridad de Presas (basadas en los requisitos de OMS) detecten / eviten una insuficiencia hidráulica que provoque un desbordamiento / falla de la presa?
	Respuesta	No. No se tiene evidencia de la existencia de un ingeniero de seguridad, sin embargo, este evento no impediría las actividades de los ingenieros en seguridad de presas.
A8	Pregunta	¿Podría el evento meteorológico evitar que las reglas de OMS sean implementadas por el Ingeniero de seguridad de Presa, lo que lleva al colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. No se tiene evidencia de la existencia de un OMS, debido a que este depósito se encuentra en cierre, sin embargo, este evento no evitaría que se sigan las reglas de OMS en caso se contaran con ello.
A9	Pregunta	¿Podría ocurrir una pérdida de resistencia e inestabilidad estática durante un evento meteorológico y causar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El talud aguas arriba y aguas abajo es de 1V:2.5H, además se tienen factores de seguridad estáticos por encima de lo recomendado.
A10	Pregunta	¿Podría la reducción / falta de soporte en la fundación o estribos durante un evento meteorológico causar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Los estribos y la fundación no se verán afectada por la influencia de este tipo de evento.

ID	Descripción	PELIGRO EXTERNO : METEOROLÓGICO
A11	Pregunta	¿Podría la filtración alrededor de las interfaces / estribos / fundación durante un evento meteorológico reducir la estanqueidad suficiente para provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Los estribos y la fundación no se verán afectada por la influencia de este tipo de evento.
A12	Pregunta	¿Podría una filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas, inestabilidad interna) durante un evento meteorológico reducir la estanqueidad y provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	Si. El talud aguas arriba no cuenta con revestimiento con geomembranas que aseguren la impermeabilidad de este, sin embargo, tienen una poza de control de filtraciones al pie del dique principal, este en un evento meteorológico tendría deficiencias en operación por lo que este sistema quedaría inhabilitado.
A13	Pregunta	¿Podría el debilitamiento estructural (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) causado por un evento meteorológico causar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El talud aguas arriba y aguas abajo es de 1V:2.5H y la altura de la presa es de 22m, teniendo factores de seguridad por encima de lo recomendado.
A14	Pregunta	¿Podría ocurrir un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) causado por un evento meteorológico que cause el colapso de la presa?
	Respuesta	No. En caso ocurra una licuefacción de los relaves almacenados en el dique principal solo se provocaría el reacomodo de estos y pueden ser contenidos dentro del dique principal.

Tabla IV.2 - Evaluación Relacionadas al Peligro Externo - Sismo

ID	Descripción	PELIGRO EXTERNO : SISMO
B1	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar un evento meteorológico y hacer que la presa sea sobrepasada / falle debido a una capacidad de descarga reducida (canales, vertederos)?
	Respuesta	No. Un evento sísmico no necesariamente puede estar acompañado de un evento meteorológico.
B2	Pregunta	¿Podría un evento sísmico crear una condición que impida que se sigan las reglas de operación, lo que provocaría que la presa sea sobrepasada / falle?
	Respuesta	No. Las reglas de operación no se utilizan para controlar la seguridad de la presa para un evento sísmico.
B3	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar un fallo funcional aleatorio de la capacidad de derrame que conduzca a que la presa sea sobrepasada / falle?
	Respuesta	No. El sistema de descarga está conformado por sistemas de bombeo, los cuales no se verían afectados ante la ocurrencia de un sismo, estos sistemas funcionan con grupos electrógenos independientemente.
B4	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar daño a la capacidad de descarga que cause que la presa sea sobrepasada o falle?
	Respuesta	No. El sistema de descarga está conformado por un sistema de bombeo que no se verá afectado ante la ocurrencia de un sismo, estos sistemas funcionan con grupos electrógenos independientemente.
B5	Pregunta	Podría un evento sísmico causar que la presa sea sobrepasada/falle por una avalancha en el reservorio o una falla de la presa aguas arriba?
	Respuesta	No. No existe peligro de deslizamiento de tierra. Si bien es cierto existe la posibilidad de la falla del depósito de desmontes Excelsior, esta falla no implicaría la falla del dique principal.
B6	Pregunta	Podría un evento sísmico causar que la presa sea sobrepasada/falle debido a un borde libre inadecuado y olas generadas por el viento?
	Respuesta	Si. La presa ha sido diseñada para un sismo de periodo de retorno equivalente a 500 años, al ocurrir sismos mayores al de diseño podría ocurrir deformaciones verticales hasta de 1.1m (estimado con el método Swaisgood), los cuales harían que el borde libre sea superado.
B7	Pregunta	¿Podría un evento sísmico evitar que las actividades de los Ingenieros de Seguridad de la Presa (basadas en los requisitos de OMS) detecten / eviten la insuficiencia hidráulica que provoque el sobreceso / falla de la presa?
	Respuesta	No. No se tiene evidencia de la existencia de un ingeniero de seguridad, sin embargo, este evento no impediría las actividades de los ingenieros en seguridad de presas.
B8	Pregunta	¿Podría un evento sísmico hacer que no se sigan las reglas de la OMS y provocar un colapso por pérdida de resistencia durante un evento sísmico?
	Respuesta	No. No se tiene evidencia de la existencia de un OMS, debido a que este depósito se encuentra en cierre, sin embargo, este evento no evitaría que se sigan las reglas de OMS en caso se contaran con ello.
B9	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar una inestabilidad externa masiva y causar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. No se ha identificado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.
B10	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar reducción / falta de soporte en la fundación o estribos que conduzcan al colapso de la presa?

ID	Descripción	PELIGRO EXTERNO : SISMO
	Respuesta	Si. La presa no ha sido diseñada para periodos de retorno mayores a 500 años. Según los análisis de estabilidad, los FoS de seguridad Pseudo - estáticos se encuentran por debajo de lo recomendable.
B11	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos reducir la estanqueidad al agua lo suficiente para provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	Si. De acuerdo a las consideraciones hidrogeológicas parte de las filtraciones proveniente de los relaves depositados son captados al pie del dique, al producirse un sismo mayor al de diseño afectaría la estabilidad del depósito.
B12	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar que la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) falle y reduzca la estanqueidad y cause el colapso de la presa?
	Respuesta	Sí. El depósito de relaves no cuenta con un revestimiento en la cara aguas arriba por lo que al ocurrir un evento sísmico mayor al del diseño y contar con un nivel freático alto ocasione el colapso de la presa.
B13	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y causar el colapso de la presa?
	Respuesta	Sí. La presa ha sido diseñada considerando un sismo de periodo de retorno de 500 años, por lo que, al ocurrir un evento sísmico mayor al periodo de diseño (1000 años o MCE), se produciría una pérdida de resistencia causando el colapso del dique principal al contar con FoS por debajo de lo recomendable.
B14	Pregunta	¿Podría un evento sísmico causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El material del dique no es susceptible a licuefacción o fractura hidráulica. Además, una licuefacción de los relaves provocaría el reacomodo de estos, sin embargo, podrían ser contenidos dentro del dique principal.

Tabla IV.3 - Evaluación Relacionadas al Peligro Externo - Entorno del Depósito de Relaves

ID	Descripción	PELIGRO EXTERNO : ENTORNO DEL DEPÓSITO
C1	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito (deslizamiento de tierra? Escombros?) causar un evento meteorológico que haga que la presa sea sobre pasada / falle debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
	Respuesta	No. No es Posible.
C2	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito hacer que no se sigan las reglas de operación que lleven a que la presa sea sobre pasada / falle?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que no se sigan las reglas de operación que conlleve a que el depósito de relaves falle.
C3	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito causar un fallo funcional aleatorio en la demanda de la capacidad de descarga y provocar que la presa sea sobre pasada / falle?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que exista un fallo funcional en la capacidad de descarga que conlleve a que la presa falle por sobre pasado.
C4	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito causar la pérdida de la capacidad de descarga que lleva a que la presa sea sobre pasada / falle?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que se produzca una pérdida en la capacidad de descarga que conlleve a que la presa falle por sobre pasado.
C5	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito causar una elevación excesiva del embalse que provoque que la presa sea sobre pasada / falle?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que se produzca una elevación excesiva del embalse que provoque que la presa falle por sobre pasado.
C6	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito conducir a un borde libre inadecuado para acomodar la disipación de las olas de viento que resulta en un sobre pasado / falla?

ID	Descripción	PELIGRO EXTERNO : ENTORNO DEL DEPÓSITO
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no llegaría a afectar el borde libre (a pesar que este actualmente sea inadecuado) que conlleve a que el depósito de relaves falle.
C7	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito evitar que las actividades de seguridad de Presas (basadas en los requisitos de OMS) detecten / prevengan una insuficiencia hidráulica que provoque un sobreceso / falla de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no afectaría las actividades de seguridad de presas que conlleve a que el depósito de relaves falle.
C8	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito hacer que no se sigan las reglas de la OMS y provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implica que no se sigan las reglas del OMS que conlleve a que el depósito de relaves falle.
C9	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito causar la inestabilidad externa de la presa que conduce al colapso de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que pueda causar la inestabilidad externa de la presa que conduce al colapso de la presa.
C10	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito (escombros, hielo, deslizamientos de tierra) causar fallas en los cimientos o estribos que cause el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que exista fallas en los cimientos ni estribos que produzcan el colapso de la presa.
C11	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito (escombros, hielo y deslizamientos de tierra) causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos y reducir la estanqueidad del agua suficiente para provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que se reduzca la estanqueidad del depósito de relaves.
C12	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito (deslizamientos de tierra, hielo, escombros) que provocan la pérdida del control de la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y reducir la estanqueidad y causar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que se reduzca la estanqueidad del depósito de relaves.
C13	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito (deslizamientos de tierra, hielo, escombros) causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y provocar un colapso de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con un depósito de desmontes en cierre (Excelsior) la falla de este depósito no implicaría que se cause un debilitamiento estructural interno que provoque el colapso de la presa.
C14	Pregunta	¿Podría el entorno del depósito (deslizamientos de tierra, hielo y escombros) causar un cambio instantáneo de estado (llicuefacción, fractura hidráulica) y causar un colapso de la presa?
	Respuesta	No. Aguas arriba de la relavera no se cuentan con otros depósitos de relaves ni obras de derivación (presas de agua) que puedan afectar al dique principal del depósito de relaves. A pesar que se cuente con la laguna Patarcocha, botaderos de desmontes en la zona alta y el depósito de desmontes en cierre (Excelsior), la falla de estos componentes no implicaría que se produzca un cambio instantáneo de estado (llicuefacción) que provoque el colapso de la presa.

Tabla IV.4 - Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Barrera de Relaves

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO : BARRERA DE RELAVES
D1	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera del agua causar un evento meteorológico que provoque un desbordamiento / falla de la presa debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
	Respuesta	No. No es posible que un diseño o construcción de la barrera de agua cause un evento meteorológico.
D2	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar que no se sigan las reglas de operación y que la presa se sobreponga / falle?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D3	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar una falla funcional aleatoria de la capacidad de derrame y hacer que la presa sea sobreexpuesta / falla?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D4	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar que la capacidad de descarga no se mantenga / retenga y que la presa sea sobreexpuesta / falla?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D5	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba y causar que la presa sea sobreexpuesta / falla?
	Respuesta	Si. Una pérdida de resistencia o licuefacción estática en el dique flotante ubicado al noreste del dique principal, podría ocurrir que se movilice los relaves depositados aguas arriba.
D6	Pregunta	¿El diseño o la construcción de la barrera de agua pueden causar una disipación inadecuada del borde libre y de las olas de viento provocando un sobreexpuesto / falla?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D7	Pregunta	¿El funcionamiento inadecuado, el mantenimiento y la vigilancia no pueden detectar / prevenir la insuficiencia hidráulica y provocar una falla de la barrera de agua?
	Respuesta	No. En el caso del funcionamiento inadecuado podrían no controlarse los niveles del lago de agua, pero para ello deberían de ocurrir la falla de los sistemas de evacuación, en la actualidad este sistema se encuentra conformado por los sistemas de bombeo, los cuales serán analizados en el caso F1 al F14.
D8	Pregunta	¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados no logran evitar un desempeño deficiente de la presa y pueden provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. En el caso de la vigilancia y la operación inadecuada de los piezómetros existentes en el dique principal podrían mostrar niveles que no reflejen la realidad, por lo que este podría estar lo suficientemente alto como para provocar la falla del depósito, sin embargo, esto se encontraría asociado a los peligros mecánicos y/o eléctricos, que son analizados en los ítems F1 al F14.
D9	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera contra el agua causar inestabilidad externa y provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D10	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos y provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D11	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos y reducir la estanqueidad suficiente para provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D12	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y reducir la estanqueidad y provocar el colapso de la presa?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D13	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la barrera de agua causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y provocar un colapso de la presa?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.
D14	Pregunta	¿Podría ocurrir el diseño o la construcción de la barrera de agua que cause un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) y provocar un colapso de la presa?
	Respuesta	No. El dique principal y dique flotante se encuentra en etapa de cierre, por lo que ya no habrá etapas de crecimientos.

Tabla IV.5 - Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Estructuras Hidráulicas

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO : ESTRUCTURA HIDRÁULICA
E1	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un flujo meteorológico mayor que la capacidad de salida del búnker y hacer que la presa sea sobre pasada / falle?
	Respuesta	No. No es posible que un diseño o construcción de las estructuras hidráulicas causen un evento meteorológico.
E2	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica hacer que no se sigan las reglas de operación y provocar un colapso de la presa por sobre paso?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones normales hidrológicas no afectaría la estabilidad del depósito de relaves; sin embargo, una falla de estos canales en condiciones meteorológicas extremas si podría afectar el dique principal, pero este análisis corresponde a los peligros meteorológicos considerados en el ítem A1 al A14. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m ³ aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no impedirían que se sigan las reglas de operación y provocar un colapso por sobre paso.
E3	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga y hacer que la presa sea sobre pasada / falle debido a una capacidad de descarga disponible inadecuada?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones normales hidrológicas no afectaría la estabilidad del depósito de relaves; sin embargo, una falla de estos canales en condiciones meteorológicas extremas si podría afectar el dique principal, pero este análisis corresponde a los peligros meteorológicos considerados en el ítem A1 al A14. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m ³ aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no causaría una falla funcional aleatoria de la capacidad de descarga y hacer que la presa sea sobre pasada.
E4	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar la pérdida de la capacidad de descarga y hacer que la presa se desborde / falle debido a una capacidad de descarga disponible inadecuada?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones normales hidrológicas no afectaría la estabilidad del depósito de relaves; sin embargo, una falla de estos canales en condiciones meteorológicas extremas si podría afectar el dique principal, pero este análisis corresponde a los peligros meteorológicos considerados en el ítem A1 al A14. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m ³ aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no implicaría la pérdida de la capacidad de descarga y hacer que la presa se desborde.
E5	Pregunta	¿El diseño o la construcción de la estructura hidráulica puede causar una elevación excesiva debido a un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba que lleva a la presa a ser sobre pasada / fallada debido a un borde libre inadecuado?
	Respuesta	No. No es posible, actualmente la presa de relaves se encuentre en cierre. No es posible que se ocasione un impacto en el entorno del depósito que sea provocados por las infraestructuras hidráulicas ya que no involucra un deslizamiento de tierra, además no se cuenta con depósitos de relaves ni presas de aguas arriba del depósito en evaluación.
E6	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una disipación inadecuada de las olas de viento que provoque un colapso de la presa por sobre paso?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones normales hidrológicas no afectaría la estabilidad del depósito de relaves; sin embargo, una falla de estos canales en condiciones meteorológicas extremas si podría afectar el dique principal, pero este análisis corresponde a los peligros meteorológicos considerados en el ítem A1 al A14. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m ³ aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no implicaría una disipación inadecuada de las olas de viento que provoque un colapso de la presa por sobre paso
E7	Pregunta	¿Es posible que una operación, mantenimiento y vigilancia inadecuados no detecten / eviten la idoneidad hidráulica y provoquen fallas en la estructura hidráulica?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, la falla de estos no implicaría la falla por sobre paso del dique.

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO : ESTRUCTURA HIDRÁULICA
E8	Pregunta	¿El funcionamiento inadecuado, el mantenimiento y la vigilancia de la estructura hidráulica no logran evitar un rendimiento deficiente de la presa y provocar su colapso por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, la falla o funcionamiento inadecuado de estas infraestructuras no implicaría la falla del dique.
E9	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una inestabilidad externa que provoque el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones hidrológicas normales no afectaría la estabilidad del depósito de relaves. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m3 aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no implicaría la causa de una inestabilidad externa que provoque el colapso de la presa por pérdida de resistencia.
E10	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos y provocar un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones hidrológicas normales no afectaría la estabilidad del depósito de relaves. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m3 aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no causaría una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos y provocar un colapso de la presa por pérdida de resistencia.
E11	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos que causan el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones hidrológicas normales no afectaría la estabilidad del depósito de relaves. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m3 aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no causaría filtraciones alrededor de las interfaces / estribos / cimientos que causan el colapso de la presa por pérdida de resistencia.
E12	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un fallo en el control de la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y provocar un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones hidrológicas normales no afectaría la estabilidad del depósito de relaves. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m3 aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no causaría un fallo en el control de la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y provocar un colapso de la presa por pérdida de resistencia.
E13	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) que provoque el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones hidrológicas normales no afectaría la estabilidad del depósito de relaves. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m3 aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no causaría un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) que provoque el colapso de la presa.
E14	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de la estructura hidráulica causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque el colapso de la presa?
	Respuesta	No. Actualmente se cuenta con canales de coronación y pozas de sedimentación como parte de la infraestructura hidráulica, los canales se encuentran ubicados en ambas márgenes, la falla de estos canales en condiciones hidrológicas normales no afectaría la estabilidad del depósito de relaves. Por otro lado, la falla de las pozas de sedimentación, los cuales cuentan con volúmenes de almacenamiento total de 6050 m3 aproximadamente, implicaría el incremento del nivel del pond, sin embargo, no causaría un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque el colapso de la presa.

Tabla IV.6 - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Instalaciones Eléctricas / Mecánicas

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO: INSTALACIONES ELÉCTRICAS / MECÁNICAS
F1	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar un flujo meteorológico mayor que la capacidad de salida del búfer y llevar a la presa a desbordarse / fallar debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
	Respuesta	No. No es posible que un diseño o construcción de sistemas mecánicos / eléctricos causen un evento meteorológico.
F2	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar que no se sigan las reglas de operación que llevan a un sobreceso / falla de la presa?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de bombeo operativo, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción.
F3	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una falla funcional aleatoria en la demanda que provoque un colapso de la presa por sobreceso?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de bombeo operativo, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción.
F4	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar que la capacidad de descarga no se mantenga o retenga, lo que ocasiona el colapso de la presa por desbordamiento?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de bombeo operativo, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción.
F5	Pregunta	¿El diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos pueden causar una elevación excesiva debido a un deslizamiento de tierra o una falla de la presa aguas arriba que lleva a un colapso de la presa por sobreceso?
	Respuesta	No. No es posible que la construcción de estos sistemas implique un deslizamiento de tierra o falla de presas aguas arriba (No se cuenta con presas aguas arriba)
F6	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una disipación inadecuada de las ondas de viento que provoque el colapso de la presa por sobreceso?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de bombeo operativo, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción.
F7	Pregunta	¿Es posible que la operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados no detecten / eviten fallas en el sistema mecánico / eléctrico que causa el colapso de la presa por sobreceso?
	Respuesta	Sí. La operación inadecuada de los sistemas eléctricos (sistema de bombeo) podrían ocasionar que exista una elevación del lodo hasta la corona lo cual podría provocar la falla por sobreceso.
F8	Pregunta	¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuados de los sistemas mecánicos / eléctricos no logran evitar el desempeño deficiente de las presas y provocar su colapso por pérdida de resistencia?
	Respuesta	Sí. La falta de mantenimiento adecuado de los sistemas eléctricos (piezómetros) que identifican las condiciones dentro de la presa podría resultar en una falla en la detección de un desempeño deficiente de la presa, resultando en una falta de respuesta y falla de la presa. Por lo tanto, este es un modo de falla creíble.
F9	Pregunta	¿El diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos pueden causar inestabilidad externa y provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos eléctricos disponibles corresponden al sistema de piezómetros automáticos, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción. Por lo que no afectarían al dique principal directamente.
F10	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos que conduzcan al colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos disponibles corresponden al sistema de piezómetros automáticos, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción. Por lo que no afectarían al dique principal directamente.
F11	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar filtraciones alrededor de las interfaces / pilares / cimientos que causan el colapso de las presas por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de piezómetros automáticos, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción. Por lo que no afectarían al dique principal directamente.
F12	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar una filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y reducir la estanqueidad y causar el colapso de la presa?

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO: INSTALACIONES ELÉCTRICAS / MECÁNICAS
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de piezómetros automáticos, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción. Por lo que no afectarían al dique principal directamente.
F13	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) que provoque el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de piezómetros automáticos, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción. Por lo que no afectarían al dique principal directamente.
F14	Pregunta	¿Podría el diseño o la construcción de los sistemas mecánicos / eléctricos causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) que provoque un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. El depósito se encuentra en cierre, los elementos mecánicos eléctricos disponibles corresponden al sistema de piezómetros automáticos, los cuales ya no se encuentran en proceso de diseño o construcción. Por lo que no afectarían al dique principal directamente.

Tabla IV.7 - Preguntas de Evaluación Relacionadas al Peligro Interno - Infraestructura y Planes Inadecuados

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO : INFRAESTRUCTURA Y PLANES INADECUADOS
G1	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados podrían provocar un flujo de entrada meteorológico mayor que la capacidad de salida del búnker y conducir a que la presa sea sobre pasada / falle debido a una capacidad de descarga instalada insuficiente?
	Respuesta	No. No es posible que unos planes inadecuados o infraestructuras causen un evento meteorológico.
G2	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una operación inadecuada del depósito que lleve a un colapso de la presa por sobre pasado?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.
G3	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar fallas funcionales aleatorias en la demanda, que lleve al colapso de la presa por sobre pasado?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.
G4	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados podrían hacer que la capacidad de descarga no se mantenga o retenga, lo que provocaría el colapso de las presas por desbordamiento?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.
G5	Pregunta	¿La infraestructura y / o los planes inadecuados pueden hacer que la presa falle debido a un deslizamiento de tierra del embalse o una falla de la presa aguas arriba?
	Respuesta	No. No es posible que unos planes inadecuados en el depósito de relaves impliquen un deslizamiento de tierra o falla de presas aguas arriba (No se cuenta con presas aguas arriba)
G6	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una disipación inadecuada de las olas de viento que provoque el colapso de la presa por sobre pasado?
	Respuesta	Sí. En el caso en que no se controlen bien los niveles de operación la producción de olas podría generar el sobre pasado de la presa, ocasionando una falla por overtopping.
G7	Pregunta	¿La operación, el mantenimiento y la vigilancia inadecuada de la infraestructura y los planes pueden hacer que las actividades de la OMS no detecten / prevengan la insuficiencia hidráulica antes de provocar un desbordamiento / falla de la presa?
	Respuesta	Sí. Planes inadecuados podrían provocar equivocaciones al momento de operar los sistemas de evacuación, haciendo que el nivel del lago llegue a la corona y falle por overtopping
G8	Pregunta	¿La vigilancia y gestión inadecuada de la infraestructura y los planes pueden hacer que las actividades de la OMS no detecten / prevengan el colapso de las presas por pérdida de resistencia?
	Respuesta	Sí. Planes inadecuados podrían provocar equivocaciones (operación inadecuada), que conlleve a la elevación del Nivel freático, nivel freático alto. No se detecta por falta de mantenimiento y/o monitoreo de los piezómetros.
G9	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar inestabilidad externa que ocasione el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.
G10	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar una reducción / falta de apoyo en los cimientos o estribos que llevan a un colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.

ID	Descripción	PELIGRO INTERNO : INFRAESTRUCTURA Y PLANES INADECUADOS
G11	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar filtración en las interfaces / pilares / cimientos y reducir la estanqueidad del agua suficiente para provocar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.
G12	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar la filtración de la presa (filtros / drenajes / bombas) y causar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	Sí. En el caso en que no se controlen bien los niveles de operación el nivel freático aumentaría, el cual podría ocasionar filtraciones por el cuerpo de material de dique, puesto que no se cuenta con materiales impermeabilizantes en la cara aguas arriba.
G13	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados podrían causar un debilitamiento estructural interno (erosión interna, aplastamiento, agrietamiento, pérdida de resistencia) y causar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.
G14	Pregunta	¿La infraestructura y los planes inadecuados pueden causar un cambio instantáneo de estado (licuefacción, fractura hidráulica) y causar el colapso de la presa por pérdida de resistencia?
	Respuesta	No. Tendría que intervenir algún peligro meteorológico o sísmico para ocasionar este tipo de falla al contar con una operación inadecuada.

ANEXO V:

Matriz de Riesgos FMEA del Depósito de Relaves Quiulacocha.

Tabla V.1
Ánálisis de Modo y Efecto de la Falla (FMEA , Failure Mode and Effect Analysis) - Aplicación al Depósito de Relaves Quiulacocha

Modo de Falla Global	Elemento de evaluación	Modos de falla	Causas Potenciales	Efectos de Fallas Potenciales		S E V	Probabilidad de Ocurrencia		R i e s g o	Controles de Ocurrencia								D E T	N P R	Estrategia Seleccionada	
										¿Cuáles son los elementos analizados?	¿De qué maneras puede falla dicho paso del proceso?	¿Qué causa que el sistema clave falle?	¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo?	¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es la probabilidad de que ocurra la variable de falla?	¿Qué tan seguro es el efecto para el cliente?	¿Cuál es el criterio de análisis?	¿Cuál es la probabilidad de que ocurra la variable de falla?	¿Qué tan seguro es el efecto para el cliente?	¿Existe algún control en el diseño de ingeniería que permita detectar la falla?
Colapso de la presa por sobrepaso	Capacidad instalada de descarga inadecuada	Capacidad insuficiente de descarga o salida durante un evento meteorológico extremo. El depósito no cuenta con un aliviadero de emergencias y no tiene capacidad de retención.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2	10	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga.	Muy remota	5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta	2	5	50	Reducir Riesgo	
		Operación inadecuada de reservorio (reglas no seguidas)	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3	15	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga. Cuenta con sistemas de bombeo de hasta 10 200 m ³ diarios; sin embargo, podría ser insuficiente durante un evento meteorológico.	Muy remota	5	Sí	- Existen procedimientos de operación para los sistemas de descargas. Por otro lado, se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta	2	5	75	Control Inmediato	
	Capacidad disponible de descarga inadecuada	Falla funcional aleatoria en la demanda	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Criterio Operativo	Bajo: El evento puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales	2	10	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga. Cuenta con sistemas de bombeo de hasta 10 200 m ³ diarios; sin embargo, podría ser insuficiente para un evento meteorológico.	Muy remota	5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta	2	5	50	Reducir Riesgo	
		Capacidad de descarga no mantenida o retenida	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2	10	No	- La ingeniería actual no considera un diseño de un aliviadero de descarga. Cuenta con sistemas de bombeo de hasta 10 200 m ³ diarios; sin embargo, podría ser insuficiente para un evento meteorológico.	Muy remota	5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta	2	5	50	Reducir Riesgo	
	Borde libre inadecuado	Elevación excesiva debido a deslizamiento de tierra o presa U/S	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Bajo: 0.01% - 0.1%	2	10	SI	- Cuenta con instrumentación geotécnica para monitoreos.	Moderada	3	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros).	Moderada	3	3	30	Reducir Riesgo	
		Producción de olas generadas por el viento durante un evento Meteorológico.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3	15	No	- El diseño de borde libre no está bajo los estándares correctos.	Muy remota	5	Sí	- Se tiene acceso a los registros meteorológicos en tiempo real, el cual puede ayudar a identificar tormentas y asociarlos a eventos meteorológicos.	Alta	2	5	75	Control Inmediato	
		Dispersión de la onda de viento inadecuada	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2	10	No	- El diseño de borde libre no está bajo los estándares correctos.	Muy remota	5	Sí	- Monitoreo de los desplazamientos de la relave en base a los hitos topográficos e inclinómetros.	Alta	2	5	50	Reducir Riesgo	
		Los operadores no proporcionan oportunamente avisos de detección y correlación	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3	15	SI	- El aumento de la capacidad de descarga en la laguna de operación de las estructuras mecánicas/electricas.	Baja	4	Sí	- Monitoreo del nivel del pond en el depósito de relaves.	Alta	2	4	60	Reducir Riesgo	
Colapso de la presa por perdida de resistencia (Falla o debilitación estructural interno o externo)	Los operadores no detectan ni previenen la insuficiencia hidráulica	La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan ni previenen la insuficiencia hidráulica	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3	15	SI	- Aumento capacidad de descarga existente en la laguna de operación para la disminución del nivel del Pond.	Baja	4	Sí	- Monitoreo del nivel del pond en el depósito de relaves.	Alta	2	4	60	Reducir Riesgo	
		La operación, el mantenimiento y la vigilancia no detectan el desempeño de la presa	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3	15	SI	- Se dispone de instrumentación geotécnica que pueden detectar el nivel freático.	Baja	4	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros).	Moderada	3	4	60	Reducir Riesgo	
	Estabilidad bajo cargas aplicadas	Movimiento de masa (estabilidad-desplazamiento externo, inclinación, resistencia sísmica)	No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. No se ha detectado una masa externa que pueda ocasionar el colapso de la presa.	Población potencial en riesgo	Menor: Ninguna	1	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Despreciable: Menos de 0.01%	1	1	No	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Muy alta	1	No	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Muy alta	1	1	1	Prevención
		Pérdida de soporte (falla de cimentación o estribo)	- Ocurrencia de un sismo mayor al de diseño actual o el MCE.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2	10	No	- El diseño no comprende el sometimiento de la estructura a un sismo MCE.	Muy remota	5	Sí	- Evaluación de estabilidad física.	Moderada	3	5	50	Reducir Riesgo
	Estanqueidad	Filtración alrededor de la interfaz (estribos, cimientos, juntas)	- Evidencia de Filtraciones por la cimentación que podrían ser amplificadas por la ocurrencia de un sismo máximo creíble (MCE)	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3	15	SI	- Las filtraciones presentes de los relaves depositas son captadas en la poza de filtraciones al pie del dique principal.	Moderada	3	Sí	- Mediante dossier de calidad se debe verificar la adecuada conformidad de las estructuras involucradas.	Moderada	3	3	45	Reducir Riesgo
		-Falla de control de filtraciones de la presa al durante un evento meteorológico de máximas avenidas.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Bajo: 1,000 - 10,000	2	10	No	- El talud aguas arriba de la presa no se encuentra revestido con algún material o geosintético impermeable. Las filtraciones existentes son captadas en la poza de filtraciones ubicadas al pie del dique principal.	Muy remota	5	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros).	Moderada	3	5	50	Reducir Riesgo	
		-Falla de control de filtraciones de la presa al contar con planes inadecuados de operación y no contar con un sistema de impermeabilización en la cara aguas arriba del dique principal.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Criterio Operativo	Moderado: El evento podría ocurrir alguna vez	3	15	SI	- Cuenta con instrumentación geotécnica que pueden detectar el nivel freático.	Baja	4	Sí	- Elaboración de procedimientos, mantenimiento y monitoreo de instrumentación geotécnica instalada (piezómetros).	Moderada	3	4	60	Reducir Riesgo	
		Debilitamiento estructural (erosión interna, AAR, aplastamiento, pérdida gradual de fuerza)	- Inestabilidad, pérdida de resistencia, al presentarse un sismo mayor al considerado en el diseño.	Población potencial en riesgo	Catastrófico: > 1000	5	Periodo de Retorno Anual (años)	Moderado: 20 - 1,000	3	15	No	- El diseño no comprende el sometimiento de la estructura para sismos mayores a períodos de retorno de 500 años o un MCE.	Muy remota	5	No	- Evaluación de estabilidad física.	Moderada	3	5	75	Control Inmediato
	Durabilidad/ Agrietamiento	Cambio instantáneo de estado (licuefacción estática, fractura hidráulica, agrietamiento sísmico)	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble.	Población potencial en riesgo	Menor: Ninguna	1	Probabilidad de ocurrencia en un año dado	Despreciable: Menos de 0.01%	1	1	SI	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble. Los relaves son susceptibles a licuefacción sin embargo estos serían contenidos en el dique principal.	Muy alta	1	Sí	- No hay peligro que cause este modo de falla, es una falla no creíble	Muy alta	1	1	1	Prevención

NIVELES DE RIESGO	
Nivel	Riesgo
17 - 5	Muy Alto
10 - 15	Alto
4 - 9	Medio
0 - 3	Bajo

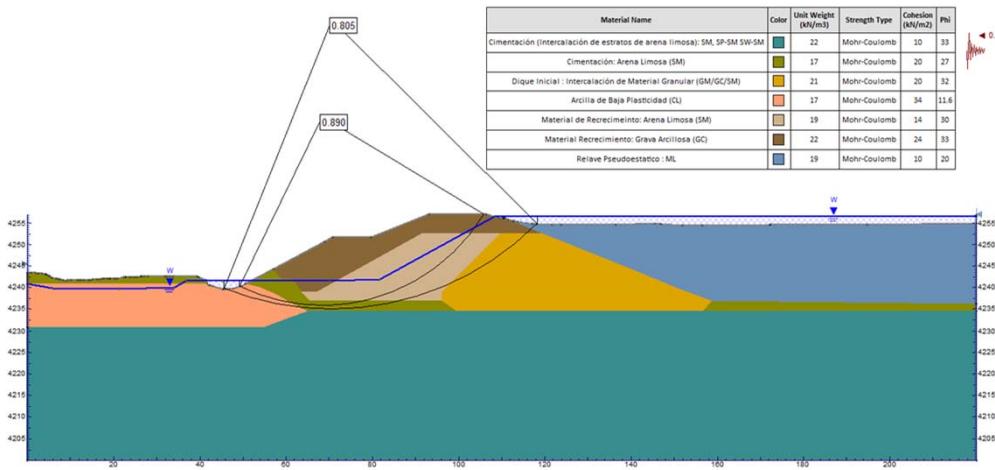
NIVELES DE RNP	
NPR	Riesgo de falla Asociado
65 - 125	Prioridad de Riesgo Alto
25 - 54	Prioridad de Riesgo Alta
7 - 27	Prioridad de Riesgo Media
0 - 6	Prioridad de Riesgo Baja

ANEXO VI:

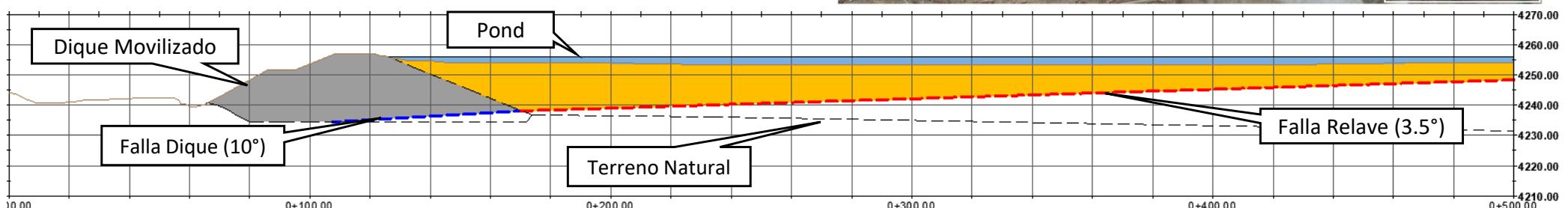
Consideraciones para la estimación de los Modelamientos Numéricos
preliminares evaluados.

1. CONSIDERACIONES DE BRECHA, SUPERFICIE FINAL DE FALLA, VOLUMEN MOVILIZADO E HIDROGRAMA DE FALLA

1.1 SECCIÓN CRÍTICA



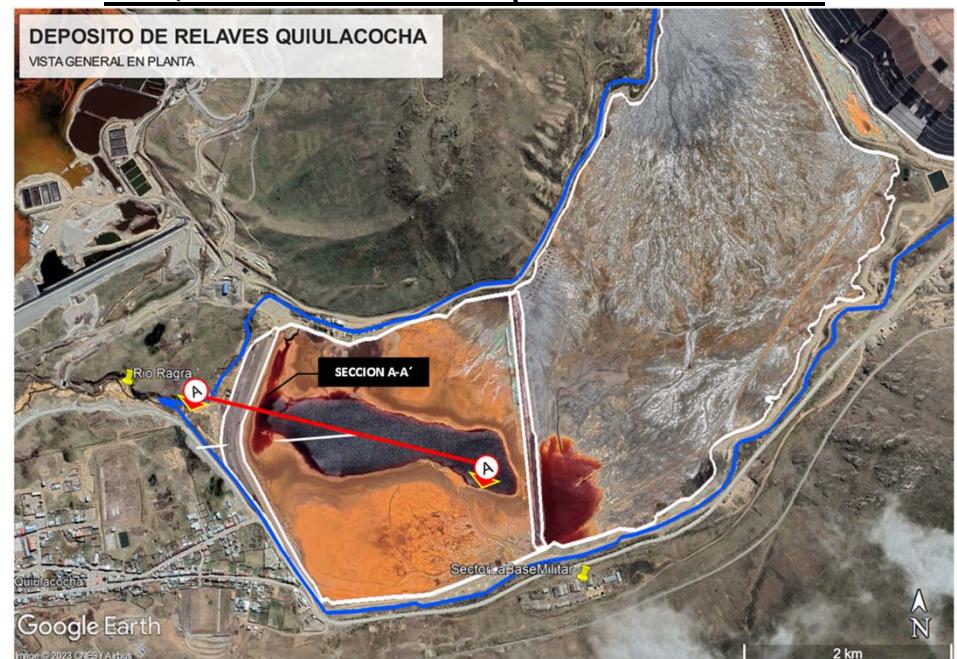
DR Quiulacocha – Sección de falla



Este método considera la definición de una superficie post-falla basada en estadísticas geométricas de como terminaron los Depósitos de Relaves que sufrieron este evento. Estos supuestos se basan en:

- **Ángulo de falla del dique:** Los análisis de casos históricos de fallas de botaderos reportan generalmente ángulos de la superficie de falla mayores a 15° (Dawson, Chin and Davies, 1998). Sin embargo, Blight, Fourie y Papageorgiou (2003) reportaron ángulos de la superficie de falla de entre 10° y 12°.
- **Ángulo de falla de los relaves:** En la falla de la mina El Cobre – Chile (1965) se reportó que el ángulo promedio de la superficie de relaves remanente en el depósito (superficie post-falla) fue de 3.5° (Blight, Fourie and Papageorgiou, 2003). En general, los ángulos observados en la superficie de relaves post-falla oscilan entre 2° y 6° (Blight, Fourie and Papageorgiou, 2003; Fontaine and Martin, 2015); mientras que la pendiente del relave en reposo del cono de deyección del flujo descargado oscila entre 1° y 4° (Blight, Fourie and Papageorgiou, 2003; Lucia, Duncan and Seed, 1981).

DR Quiulacocha – Vista en planta sección crítica



Método Superficie – Post Falla

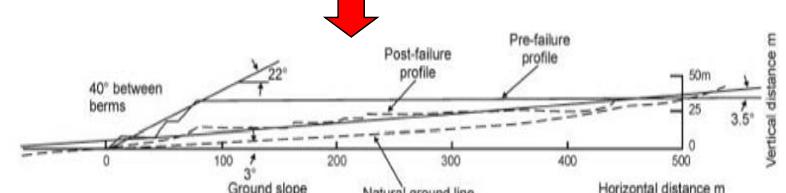


Figure 19: Pre-and post-failure profiles of El Cobre old dam

1. CONSIDERACIONES DE BRECHA, SUPERFICIE FINAL DE FALLA, VOLUMEN MOVILIZADO E HIDROGRAMA DE FALLA

1.2 VOLUMEN MOVILIZADO



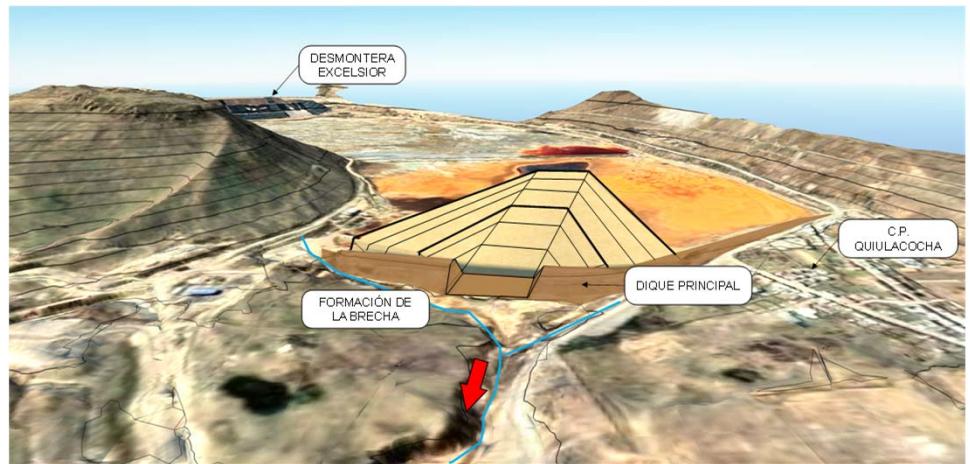
Vista DR Quiulacocha antes de la Falla

Dimensionamiento de Brecha de falla

Parámetros	Unidad	D.R. Quiulacocha
Volumen Total Movilizado	Mm ³	2.6
Ancho de Brecha	m	70
Altura de Brecha	m	22
Ancho intermedio estimado brecha.	Bureau of Reclamation (1988)	66
	Von Thun and Gillette (1990): Bavg	110
	Froehlich (1995): Bavg, overtopping	51
	Froehlich (2008): Bavg, otherwise	37
	USACE(1980)	52
	FERC(1988)	70
	NWS(Fread,1984)	96
	USACE(2007)	80

Tiempo de formación de Brecha de falla

Parámetros	Unidad	D.R. Quiulacocha
Tiempo de Formación de Brecha	h	0.5 - 1
Estimación del tiempo de desarrollo de la brecha (h)	Bureau of Reclamation (1988)	0.7
	Von Thun and Gillette (1990)	0.7
	Froehlich (1995)	0.4
	Fread (2001)	0.4



Vista DR Quiulacocha después de la Falla

Bureau of Reclamation (1988)

$$Bavg = 3 * h_w$$

Von Thun and Gillette (1990): Bavg

$$Bavg = 2.5 * h_w + C_b$$

Froehlich (1995): Bavg, overtopping

$$Bavg = 0.1803 * K_0 * Vw^{0.32} + h_b^{0.19}$$

Froehlich (2008): Bavg, otherwise

$$Bavg = 0.27 * K_0 * Vw^{0.32} + h_b^{0.19}$$

USACE(1980)

$$Bavg = (0.5 a 3.0) * hd$$

FERC(1988)

$$Bavg = (1.0 a 5.0) * hd$$

NWS(Fread,1984)

$$Bavg = (2.0 a 5.0) * hd$$

USACE(2007)

$$Bavg = (0.5 a 5.0) * hd$$

Bureau of Reclamation (1988)

$$Tf = 0.033 * h_w$$

Von Thun and Gillette (1990): Bavg

$$Tf = 0.020 * h_w + 0.25; Tf = \frac{Bavg}{4 * h_w}; Tf = \frac{Bavg}{4 * h_w + 61}$$

$$Tf = 0.00254 * Vw^{0.53} + h_b^{0.19}$$

Froehlich (1995)

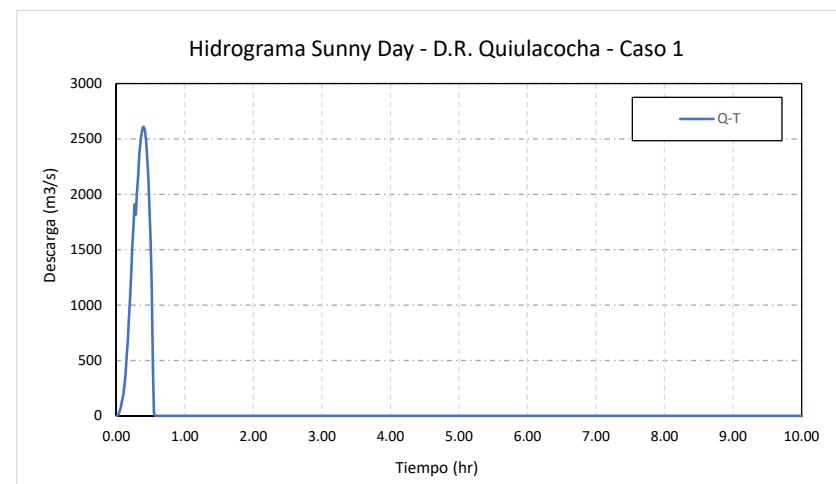
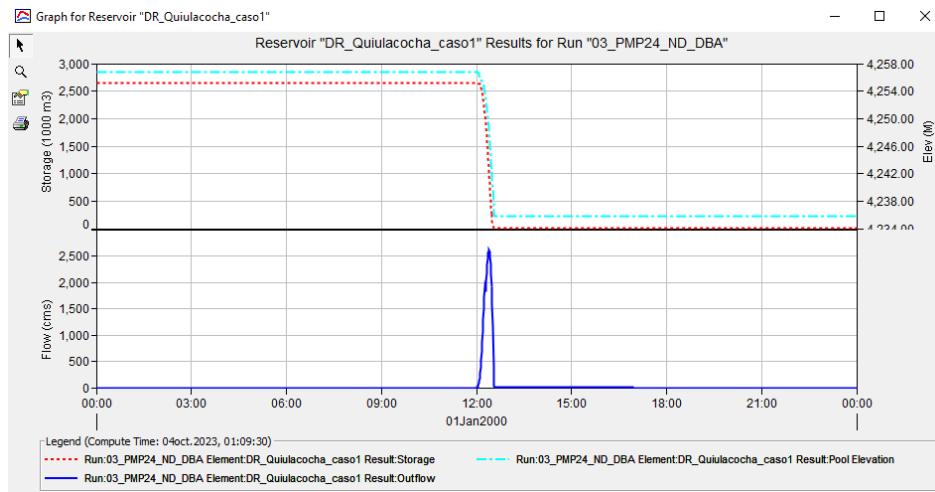
Froehlich (2008)

$$Tf = 63.2 * \sqrt[2]{\frac{V_w}{g * h_b^2}}$$

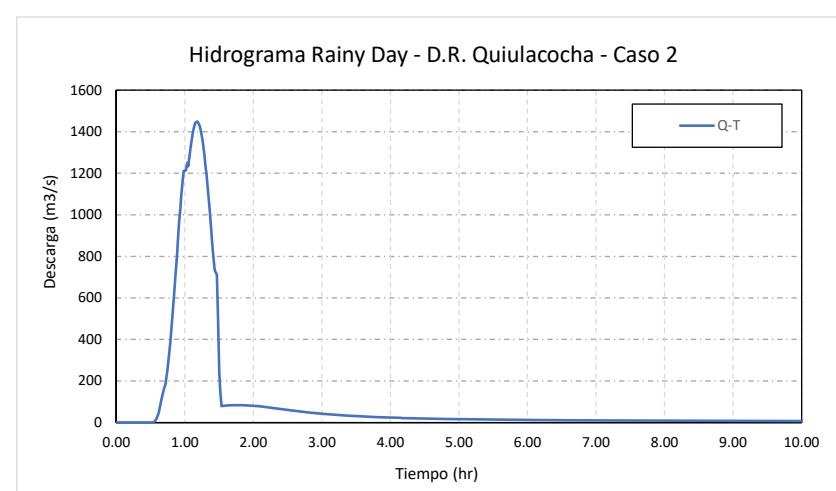
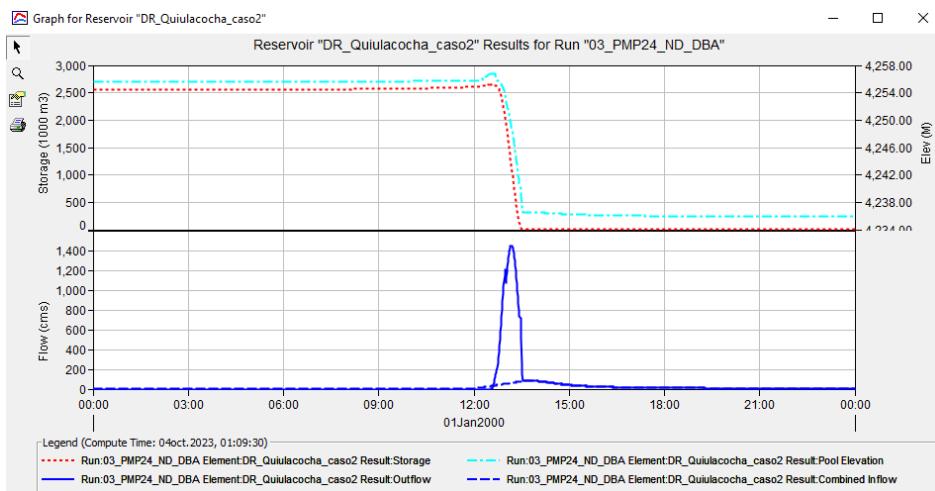
1. CONSIDERACIONES DE BRECHA, SUPERFICIE FINAL DE FALLA, VOLUMEN MOVILIZADO E HIDROGRAMA DE FALLA

1.3 HIDROGRAMAS DE FALLA

HIDROGRAMAS DE DESCARGA – CASO 1 – SUNNY DAY

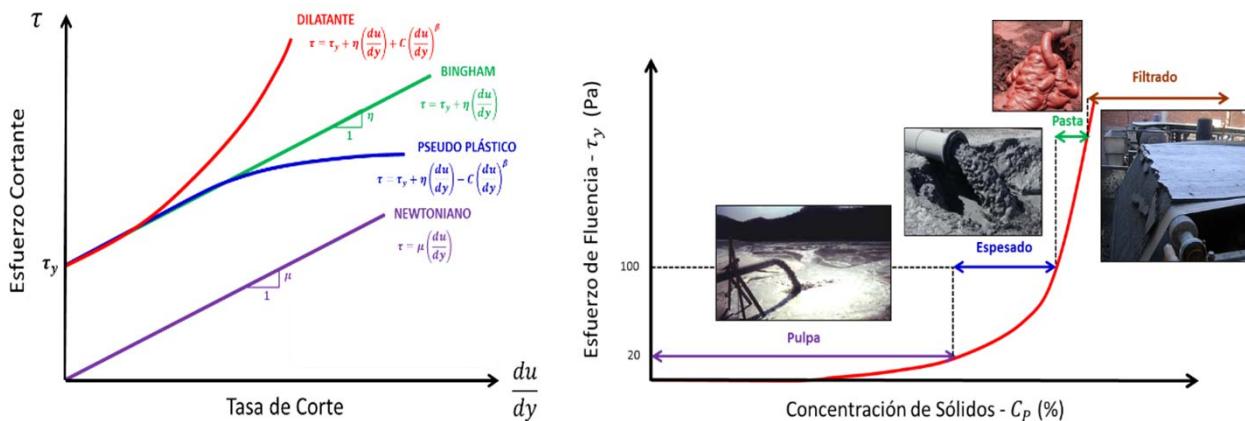


HIDROGRAMAS DE DESCARGA – CASO 2 – RAINY DAY



2. CARACTERISTICAS REOLÓGICAS

2.1 REOLOGÍA CARACTERISTICA DEL DR QUIULACOCHA

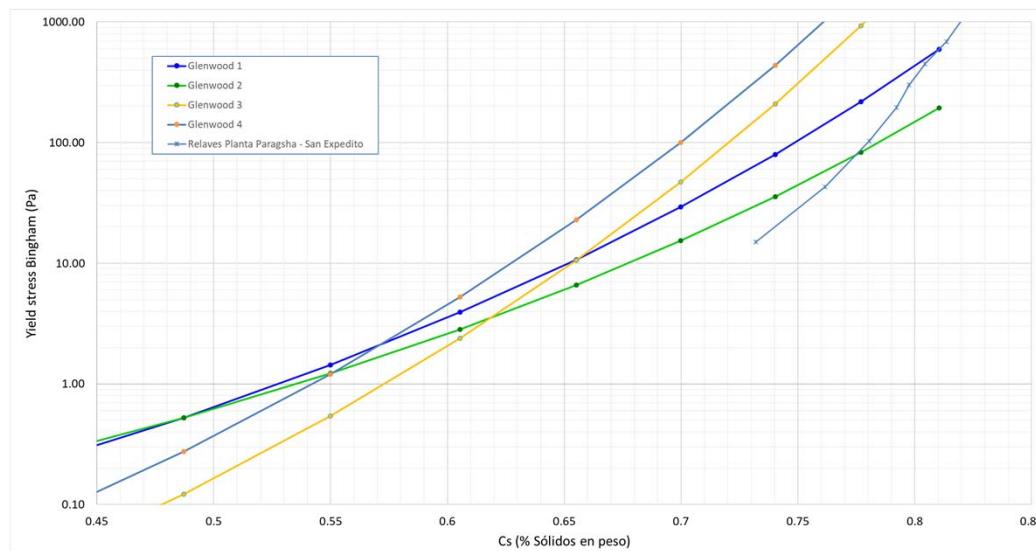


Source: Presentation for the 25th Annual Mine Design, Operations & Closure Conference Fairmont, Montana
May 7 – 11, 2017
https://www.mtech.edu/mwtp/2017_presentations/wednesday/marc-orman.pdf

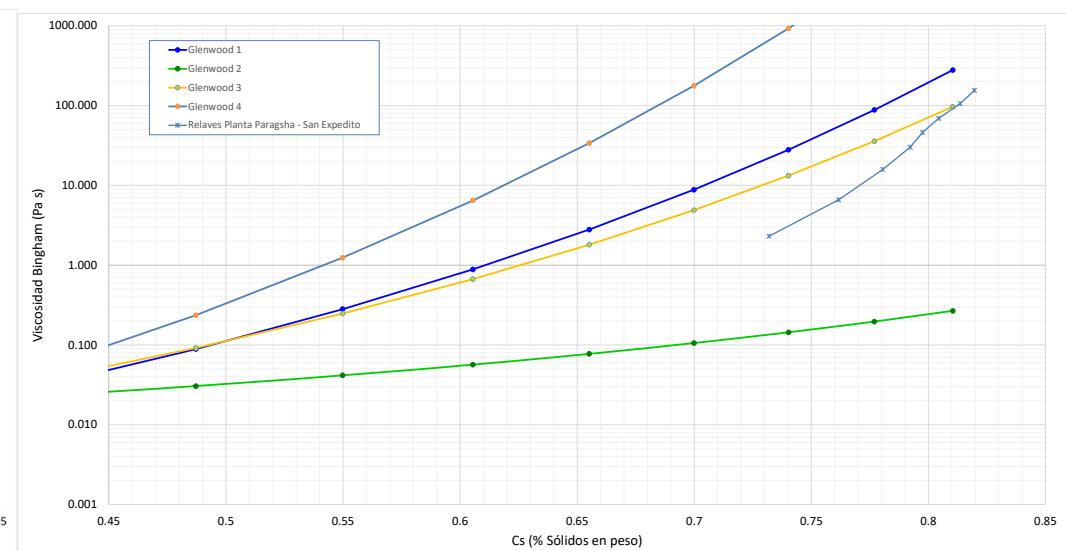
Fuente: Tabla de esfuerzo de cedencia y viscosidad en función de la concentración de sedimentos según O'Brian y Julien (1988)

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$n = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones de campo				
Aspen Pit 1	0.181	25.70	0.036	22.10
Aspen Pit 2	2.72	10.40	0.0538	14.50
Aspen Natural Soil	0.152	18.70	0.00136	28.40
Aspen Mine Fill	0.0473	21.10	0.128	12.00
Aspen Watershed	0.0383	19.60	0.000495	27.10
Aspen Mine Source Area	0.291	14.30	0.000201	33.10
Glenwood 1	0.0345	20.10	0.00283	23.00
Glenwood 2	0.0765	16.90	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.80	0.00632	19.90
Glenwood 4	0.00172	29.50	0.000602	33.10
Correlaciones disponibles de la literatura				
Iida (1983)	-	-	0.0000373	36.60
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.0075	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.20	-	-
	0.05	15.48	-	-

Propiedades reológicas – DR Quiulacocha vs O'brian



Curvas de Esfuerzo de Cedencia vs Contenido de Sólidos (O'brian vs Relaves Planta Paragsha)

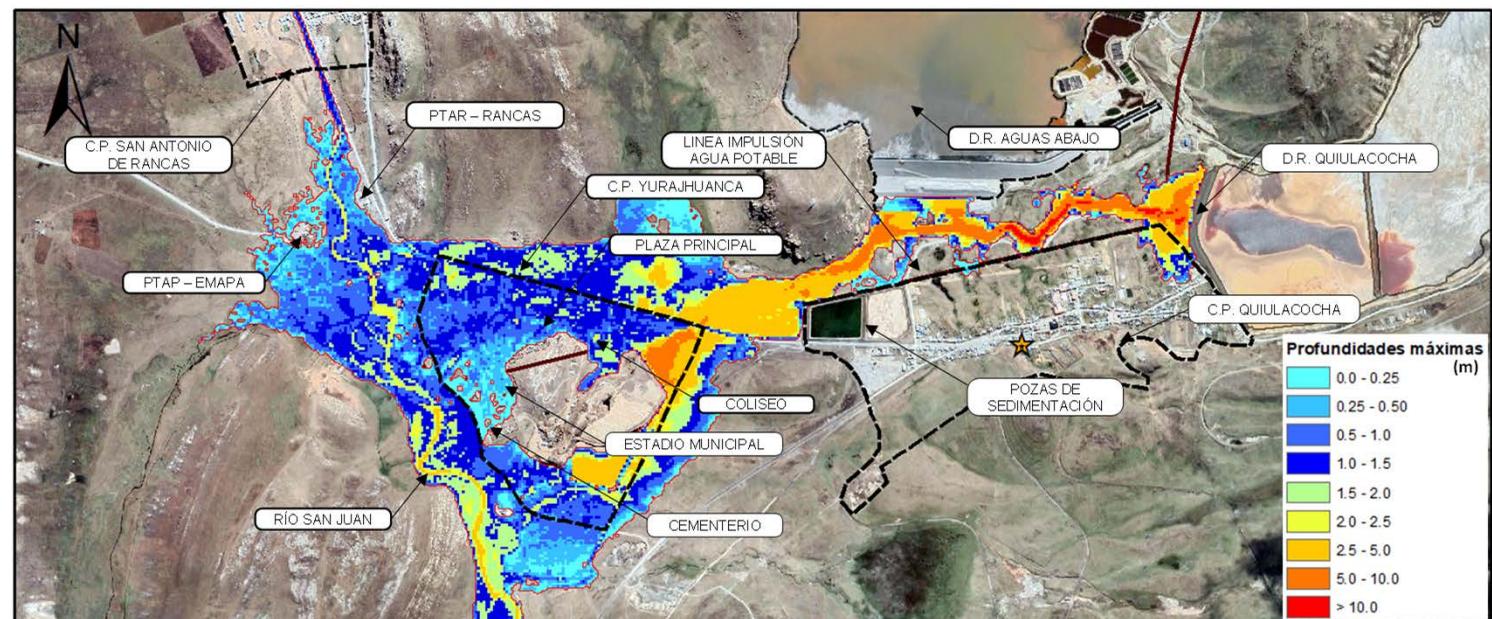


Curvas de viscosidad vs contenido de sólidos (O'brian vs Relaves Planta Paragsha)

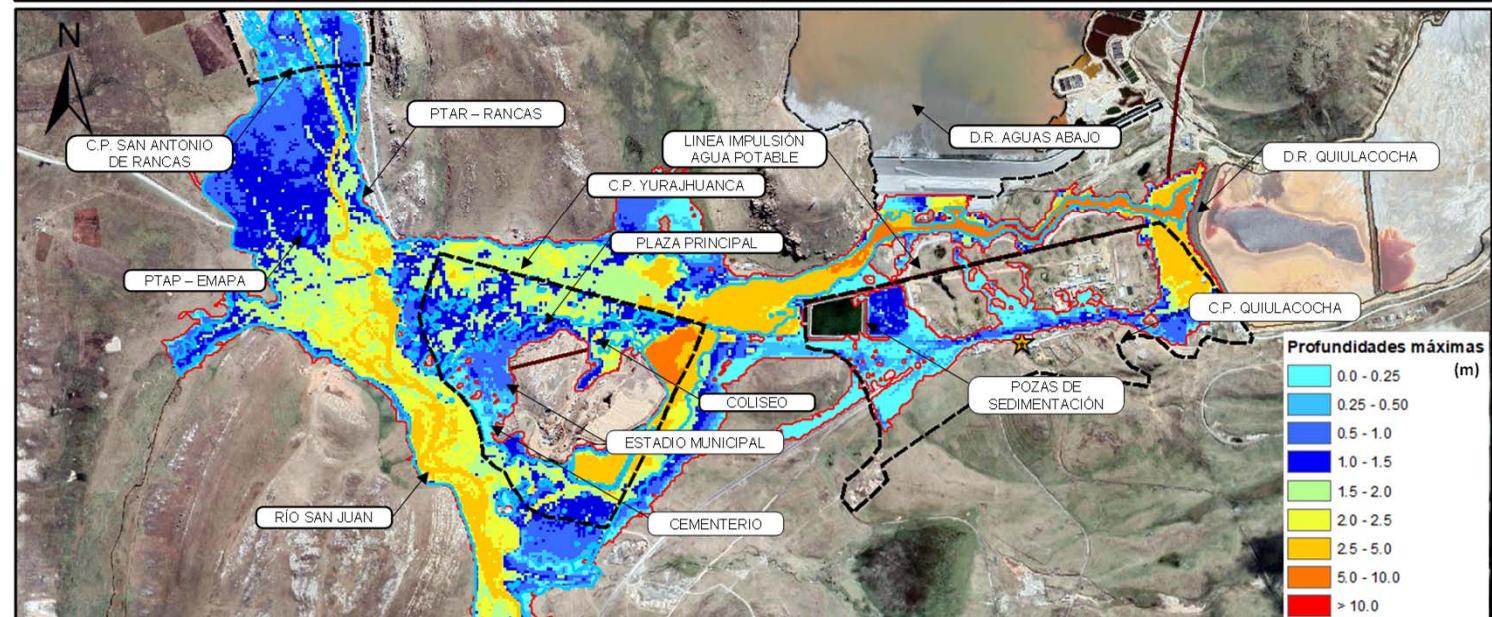
3. RESULTADOS DE MODELAMIENTOS PRELIMINARES

3.1 Profundidades máximas

Profundidades Máximas
DR Quiulacocha – Escenario
Sunny Day – Caso 1



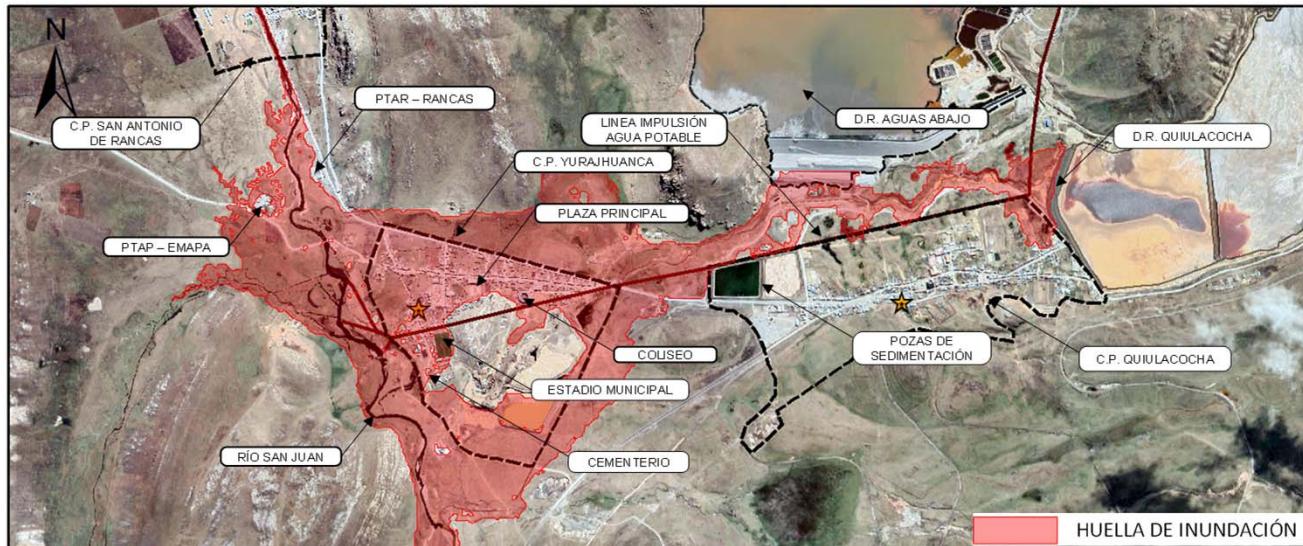
Profundidades Máximas
DR Quiulacocha – Escenario
Rainy Day – Caso 2



3. RESULTADOS DE MODELAMIENTOS PRELIMINARES

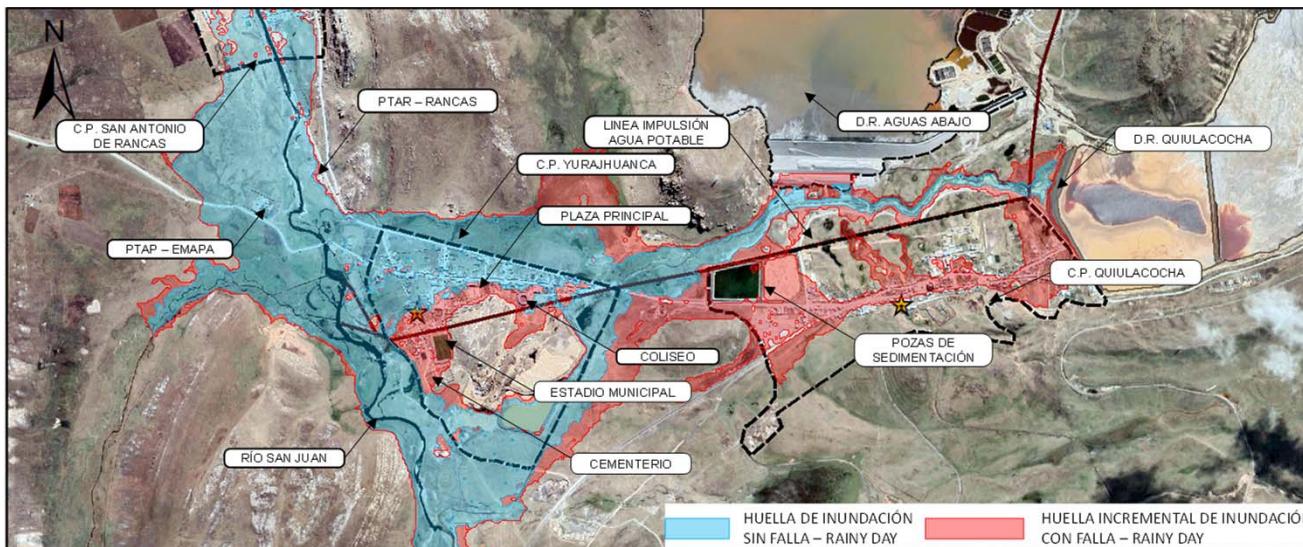
3.2 Resumen de Población Potencial en Riesgo (PAR) y Perdida Potencial de Vidas (PLL)

DR Quiulacocha



Zonas Afectadas – Escenario Sunny Day – Caso 1

Localidad	Población Potencial en Riesgo (PAR)		Tiempo de llegada (min)	Perdida Potencial de Vidas - PLL (*)
	Viviendas	Población		
C.P. Quiulacocha	1	4	6	1
Población Dispersa - San Antonio de Rancas	7	19	12	9
C.P. Yurajhuanca	352	1056	20	111
C.P. San Antonio de Rancas	-	-	30	-
Población afectada	360	1078		121



Zonas Afectadas – Escenario Rainy Day – Caso 2

Localidad	Población Potencial en Riesgo (PAR)		Tiempo de llegada (min)	Perdida Potencial de Vidas - PLL (*)
	Viviendas	Población		
C.P. Quiulacocha	257	900	6	63
Población Dispersa - San Antonio de Rancas	4	11	12	2
C.P. Yurajhuanca	140	420	20	44
C.P. San Antonio de Rancas	2	5	30	1
Población afectada	403	1336		110

3. RESULTADOS DE MODELAMIENTOS PRELIMINARES

3.3 Identificación de Posibles Consecuencias

DR Quiulacocha

Consecuencias Evaluadas	Clasificación de perdidas	Descripción de perdidas identificadas	Und.	Cantidad	Cantidad
				Caso 1	Caso 2
Población potencial en riesgo	Población potencial en riesgo (PAR)	Centros Poblados (Quiulacocha, Yurajhuanca, San Antonio de Rancas)	Pers.	ver PAR y PLL	ver PAR y PLL
Pérdida potencial de vidas	Pérdida potencial de vidas (PLL)	Centros Poblados (Quiulacocha, Yurajhuanca, San Antonio de Rancas)	Pers.		
Medioambiente	Pérdida o deterioro del hábitat o especies raras y en peligros de extinción	Afectación mínima a corto plazo del hábitat.	-	Si	Si
	Contaminación a suministro de agua para el ganado o la fauna	El agua es usada como suministro para el ganado y/o fauna de la zona.	-	Si	Si
	Relaves Generadores de Acido	Liberación de Relaves con potencial generador de Acidez.	-	Si	Si
	Área potencial de impacto	El área directamente afectada será <10 km ²	km ²	1.8	1.4
	Restauración	Se requiere restauración del cauce del río Ragra y San Juan.	km	4.4	4.4
Salud, sociales y culturales	Interrupción de negocios y medios de subsistencia	Interrupción de negocios de pequeña a menor escala (>1000 personas)	-	Si	Si
	Efectos en la Salud Humana	Afecta el suministro de agua.	-	Si	Si
	Activos patrimoniales, recreativos, comunitarios o culturales.	Alteración de activos patrimoniales, recreativos, comunitarios o culturales regionales (Plaza Principal, Estadio Municipal y El coliseo).	-	Sí	Sí
Infraestructura y economía	Infraestructura	Infraestructura de Mina afectada (Depósito de relaves y Pozas de Sedimentación)	Und.	3	3
	Servicios	Afectación a rutas de transporte	km	2.2	1.9
	Comunidades	Afectaría comunidades	Und.	3	3
	Valor	< 100 millones de dólares	MUSD	<100	<100

3. RESULTADOS DE MODELAMIENTOS PRELIMINARES

3.4 Determinación de Severidad

DR Quiulacocha

Rating ^a	Severidad ^a	Perdidas Incrementales ^a				
		Población-potencial-en riesgo ^a	Pérdida-potencial-de vidas ^a	Medio Ambiente ^a	Salud, ámbito cultural y social ^a	Infraestructura y economía ^a
1 ^a	Menor ^a	Ninguna ^a	Ninguna esperada ^a	A corto plazo, mínima pérdida o deterioro de hábitat o de especies raras y en peligro de extinción. ^a	Efectos mínimos e interrupción ligera de las actividades económicas y medios de subsistencia. Ningún efecto medible sobre la salud humana. Ninguna alteración del patrimonio, o los bienes comunitarios, culturales o recreativos. ^a	Pérdidas económicas bajas; el área contiene escasa infraestructura o servicios. (<USD 1M) ^a
2 ^a	Temporal ^a	1-10 ^a	Sin especificar ^a	Ninguna pérdida o deterioro de hábitat significativos. Relaves sin potencial generación de ácido y con bajo potencial de lixiviación neutra. Restauración posible (1 a 5 años). ^a	Interrupción significativa de actividades económicas y servicios. Baja probabilidad de pérdida de patrimonio o bienes comunitarios, culturales o recreativos regionales. Baja probabilidad de efectos en la salud. ^a	Pérdidas en instalaciones recreativas, lugares de trabajo estacionales y rutas de transporte de uso poco frecuente. (<USD 10M) ^a
3 ^a	Permanente ^a	10-100 ^a	Possible ^a (1-10) ^a	Significativa pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Agua de proceso moderadamente tóxica. Área potencial de impacto (10°-20 km ²). Restauración posible (difícil, >5 años). ^a	500-1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios. Perturbación del patrimonio regional, de los bienes comunitarios o culturales, instalaciones recreativas. Posibilidad de efectos en la salud humana a corto plazo. ^a	Grandes pérdidas económicas que afectan la infraestructura, el transporte público, las instalaciones comerciales o el empleo. Moderada reubicación o indemnización a las comunidades. (<USD 100M) ^a
4 ^a	Fatalidad ^a	100-1000 ^a	Probable ^a (10-100) ^a	Importante pérdida o deterioro de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto (>20 km ²). Restauración o indemnización posible, pero muy difícil, requiere un largo período (5 a 20 años). ^a	>1000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, destrucción de patrimonio nacional, de instalaciones comunitarias o bienes culturales. Posibilidad de efectos significativos en la salud humana a largo plazo. ^a	Pérdidas económicas muy grandes, que afectan a importantes obras de infraestructura o servicios (autopistas, instalaciones industriales). Importante reubicación/compensación para las comunidades. (<USD 1B) ^a
5 ^a	Catastrófico ^a	>1000 ^a	Mucho ^a (más de 100) ^a	Pérdida catastrófica de hábitat crítico o de especies raras y en peligro de extinción. Área potencial de impacto >20 km ² . Imposible restauración o compensación en especie, se requiere de un largo período (>20 años). ^a	>5000 personas afectadas por interrupción de la actividad económica y de los servicios, destrucción de patrimonio o de instalaciones comunitarias o bienes culturales a nivel nacional. Posibilidad de efectos graves en la salud humana y/o a largo plazo. ^a	Pérdidas económicas extremas que afectan la infraestructura o los servicios críticos (hospitales, complejos industriales importantes). Reubicación/compensación muy importante a las comunidades y costos de reajuste social muy altos. (>USD 1B) ^a

ANEXO VII:

Reporte de Peligro Inminente en el Depósito de Relaves Quiulacocha
(INDECI, 2021).

REPORTE DE PELIGRO INMINENTE N° 098 - 24/4/2021 / COEN - INDECI / 21:30 HORAS
(Reporte N° 4)

POR DESEMBALSE DE LA RELAVERA QUIULACOCHA EN EL DISTRITO DE SIMÓN BOLÍVAR- PASCO

I. ANTECEDENTES:

Desde enero de 2021 se han presentado lluvias extraordinarias en la provincia de Pasco con precipitaciones superiores a 10 mm/día, lo que ha generado que los niveles del borde libre del dique de la referida relavera disminuyan considerablemente hasta 55 cm, poniendo en riesgo las estructuras, población y al medio ambiente.

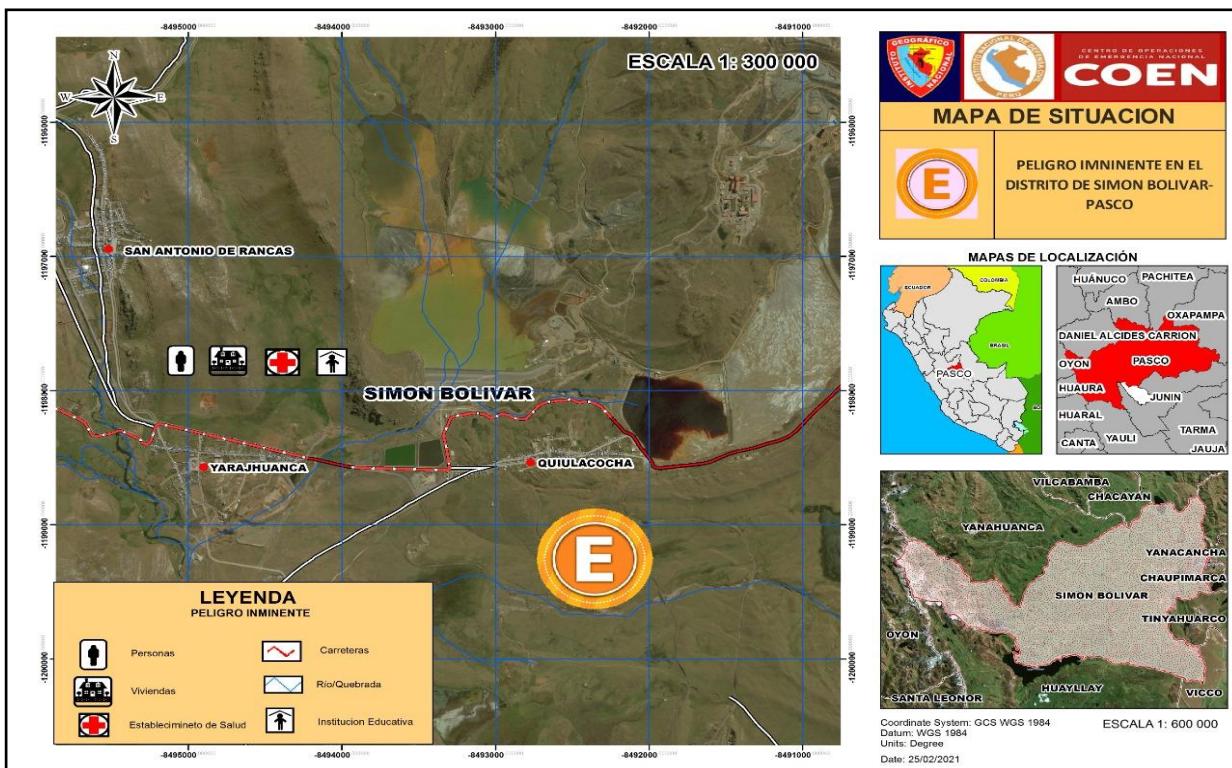
La Relavera Quiulacocha tiene una extensión de 110 hectáreas y cuenta con aproximadamente 70 millones de toneladas de relave producto de las operaciones de Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. entre los años 1943 al 1992.

Con la finalidad de controlar los niveles de agua en la Relavera Quiulacocha, desde el 2016 AMSAC viene desarrollando actividades de tratamiento del agua ácida de la referida relavera a través de una Planta de Neutralización.

A la fecha, AMSAC dispone de dos sistemas de bombeo con una capacidad instalada de 316 m³/h (7,231 m³/día). Esta capacidad instalada permite a AMSAC controlar los niveles de agua en la relavera Quiulacocha con borde libre superior a los 100 cm cuando las precipitaciones no superan los 2.64 mm/día (punto de equilibrio).

II. UBICACIÓN:

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	CENTRO POBLADO	SINPAD
PASCO	PASCO	SIMON BOLIVAR	QUIULACOCHA, YURAJHUANCA Y RANCAS	5639



UBICACIÓN DE LA RELAVERA QUIULACOCHA

Distribución: A los tres niveles de Gobierno (Nacional, Regional y Local).

CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL

Av. El Sol, Cdra. 4 - Chorrillos, Lima - Perú.

Tel. +511 224-1685 • www.indeci.gob.pe

Facebook: <https://www.facebook.com/COENPeru> • Twitter: <https://twitter.com/COENPeru>

III. ELEMENTOS EXPUESTOS:

Actualizado al 24 de abril de 2021, a las 19:00 horas

UBICACIÓN	VIDA Y SALUD (PERSONA)	VIVIENDA Y LOCAL PÚBLICO		
	PERSONA EXPUESTA	VIVIENDA EXPUESTA	INSTITUCIÓN EDUCATIVA EXPUESTA	ESTABLECIMIENTO DE SALUD EXPUESTO
DPTO. PASCO				
PROV. PASCO				
DIST. SIMON BOLIVAR	2,187	794	7	3

Fuente: Centro de Operaciones de Emergencia Sectorial del Ministerio de Energía y Minas.

Nº	INSTITUCIONES EDUCATIVAS	OBS
1	I. E San Antonio	
2	I. E 34030	
3	I. E 13 de Agosto	
4	I.E 34032 Los Mártires de Rancas	
5	I. E Simón Bolívar	
6	I. E Trece de Mayo	
7	I. E Anselmo Zarate Chamorro	

Nº	ESTABLECIMIENTO DE SALUD	OBS
1	Puesto de Salud Yurajhuanca	
2	Puesto de Salud Quiulacocha	
3	Puesto de Salud San Antonio de Rancas	

IV. ACCIONES DE PREPARACIÓN:

Sábado, 24 de abril de 2021

Nacional

MIDAGRI

- ✓ La Autoridad Nacional del Agua (ANA), informo que:
 - Se cumplió con el segundo monitoreo de la calidad del agua del río Ragra, río San Juan, laguna Quiulacocha, laguna Yanamate y lago Chinchaycocha que estaba previsto del 5 de abril al 9 de abril.
 - Posteriormente se realizará los informes técnicos de ambos monitoreos.

MINEM

- ✓ Activos Mineros SAC, informo que:
 - La ejecución de la instalación de la tubería colectora de aguas desde la poza de captación hacia el río Ragra hacia la relavera Quiulacocha se encuentra en un avance del 30%.
 - Se tiene pendiente la colocación de tubería y la cubierta de la tubería con material propio.

Distribución: A los tres niveles de Gobierno (Nacional, Regional y Local).

CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL

Av. El Sol, Cdra. 4 - Chorrillos, Lima - Perú.

Tel. +511 224-1685 • www.indeci.gob.pe

Facebook: <https://www.facebook.com/COENPeru> • Twitter: <https://twitter.com/COENPeru>

- Se ha realizado el levantamiento de información de campo y se continua con los trabajos de laboratorio y gabinete, así como Topografía, geotécnica, geofísica, geología, riesgo sísmico, hidrología e hidrogeología, análisis de la estabilidad física e hidrológica del dique de la relavera Quiulacocha.
- ✓ Dirección General de Minería :
Activos Mineros S.A.C. debió formalizar la consulta sobre el instrumento de gestión ambiental que debe de contar para la descarga de los efluentes provenientes de la relavera Quiulacocha a través de la red Garacalzon hacia la Laguna Yanamate, dicho documento debió ser presentada a la Dirección General de Minería, pero hasta la fecha no se ha recibido ningún documento mencionado.

FUENTE:

- Centro de Operaciones de Emergencia Sectorial del Ministerio de Energía y Minas.
- Centro de Operaciones de Emergencia Sectorial del MINSA.
- Centro de Operaciones de Emergencia Sectorial del MININTER.
- Centro de Operaciones de Emergencia Sectorial del MIDIS.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Informe de Estimación del Riesgo por La Asociación de Mineros de Sonora, A.C AMSAC.
- Reporte de Peligro Inminente N° 057 - 26/2/2021/COEN-INDECI/15:30 horas (Reporte N° 2)
- D.S. 037-2021-PCM / Reporte 3
- D.S. 037-2021-PCM / Reporte 4
- REPORTE DE PELIGRO INMINENTE N° 075 - 1/4/2021 / COEN - INDECI / 03:20 HORAS(Reporte N° 3)
-

Chorrillos, 24 de abril de 2021

COEN – INDECI



Ing. Fabiola Soledad Vizcarra Paucar
Evaluador del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional
Instituto Nacional de Defensa Civil

V.ºB.º



Gral. Brig. (r) Ricardo Seijas Del Castillo
Coordinador del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional
Instituto Nacional de Defensa Civil

Elaborado por: J. Espichan M.**Actualizado por:** Y. Guizado M.**ANEXO:**

1. Recursos de Respuesta y Rehabilitación.
2. Cronología de Acciones
3. Vistas fotográficas

ANEXO (1)**RECURSOS DE RESPUESTA Y REHABILITACIÓN****1. AVANCE DE EJECUCIÓN PRESUPUESTAL:**

Fecha de la Consulta: 24-abril-2021

REDUCCION DE VULNERABILIDAD Y ATENCION DE EMERGENCIAS POR DESASTRES

Nivel de Gobierno M: GOBIERNOS LOCALES

Gob.Loc./Mancom. M: MUNICIPALIDADES

Departamento 19: PASCO

Provincia 1901: PASCO

Municipalidad	PIA	PIM	Avance %
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SIMON BOLIVAR	20,000	20,455	3.5

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas.



ANEXO (2)**CRONOLOGÍA DE ACCIONES DE RESPUESTA Y REAHABILITACIÓN****1/4/2021** **Nacional****MINAM**

- ✓ El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), informo que:
 - El 16 de marzo de 2021, se realizó la primera supervisión, en la cual se monitoreo al río Ragra. Se tiene previsto realizar una segunda supervisión programado para el 14 de abril de 2021.

MINSA

- El 02 de marzo de 2021, se realizó una reunión con el Gobierno Regional de Pasco para elaborar el plan de contingencia con la Municipalidad Distrital de Simón Bolívar y prever la atención de las personas en caso ocurra un desembalse.

MIDAGRI

- ✓ La Autoridad Nacional del Agua (ANA), informo que:
 - Se cumplió con el monitoreo de la calidad del agua del río Ragra, río San Juan, laguna Quiulacocha, laguna Yanamate y lago Chinchaycocha.

MINEM

- ✓ Activos Mineros SAC, informo que:
 - Se está realizando la instalación y empalme de bomba de 18000 GPM al sistema de Cerro SAC para el bombeo del agua de la laguna Quiulacocha y laguna Yanamate. Se encuentra en un avance del 80% en la ejecución del proyecto.
 - La ejecución de la instalación de la tubería colectora de aguas desde la poza de captación hacia el río Ragra hacia la relavera Quiulacocha se encuentra en un avance del 25%.

MIDIS

- ✓ El Programa Nacional Qali Warma, informo que:
 - Se realizó la entrega de alimentos a las 1373 instituciones educativas que se encuentran en los 29 distritos de la región para dar inicio al año escolar 2021.
 - El Programa entregó los alimentos para las instituciones educativas "13 de Agosto" el nivel inicial y primaria para un total de 147 escolares.
- ✓ El Programa Nacional Pensión 65, informo que:
 - Se realizó coordinaciones remotas con Defensa Civil de la Municipalidad Distrital de Simón Bolívar, en caso exista posteriores afectados que son usuarios del programa.
- ✓ El Programa Nacional Juntos, informo que:
 - Las acciones que se realizaron fue el mantenimiento de del patrón regular.

- Se realizó el acompañamiento familiar mediante visitas domiciliarias y orientación telefónica Alo Juntos.
- Se realizó las coordinaciones con las municipalidades y el sector salud, para recibir el paquete integrado de servicios de la salud.

MININTER

- ✓ El Ministerio del Interior, informó que:

- El personal policial se mantiene constante alerta y realiza coordinaciones con las autoridades locales y regionales.

MINEDU

- ✓ El Ministerio de Educación, informó que:

- Se emite oficio múltiple comunicando a directores Quiulacocha de peligro inminente y acciones a realizar ante el desembalse de relavera Quiulacocha.
- Se realiza el mapeo de la zona para la identificación de instituciones educativas cuales se puedan ser afectadas por si sucede el peligro inminente de desembalse de relave minero Quiulacocha.
- Se evaluó el nivel de riesgo de las instituciones educativas del distrito de Simón Bolívar que puede ser afectadas si ocurriera un desembalse de la relavera Quiulacocha.

 Local**Municipalidad Distrital de Simón Bolívar**

- ✓ El jefe de la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastre de La Municipalidad Distrital de Simón Bolívar informó que:

- Se está elaborando el plan de trabajo implementación del Sistema de Alerta Temprana.
- Se realizó la capacitación de conformación de brigadista comunitario.
- Se realiza la coordinación con los entes competentes para la limpieza de canales y rípiado.
- Empadronamiento de las personas para el albergue temporal.
- Monitoreo a la relavera el nivel de aguas ácidas.

26/02/2021 **Nacional****MINEM**

- ✓ La Asociación de Mineros de Sonora, A.C – AMSAC, en su Informe de Estimación del Riesgo por Peligro Inminente ante el Desembalse de la Relavera Quiulacocha, informó que:

- El nivel de riesgo en que se encuentra el área de estudio en el entorno de la relavera Quiulacocha al producirse el desembalse de las aguas ácidas es de 3.34, considerado como nivel de riesgo muy alto, el cual afectaría a tres centros poblados directamente Quiulacocha, Yurajhuana y Rancas con una población aproximada de 2187 personas; además, al río Ragra, la vegetación natural de pastizales, césped de puna y bofedales que se encuentran debajo de la relavera.
- Debido a las altas precipitaciones pluviales, que generan disminución del borde libre del dique de la relavera Quiulacocha, en los próximos días se estaría

superando la cota de la corona del dique, con el eventual desembalse que generaría afectaciones a la propia estructura, población y el ambiente.

- AMSAC viene alertando a las autoridades competentes del grave riesgo ambiental que representa el embalse de las aguas de la relavera Quiulacocha, la cual ha sobrepasado su capacidad operativa, alcanzando a la fecha (16-02-2021) un borde libre de 55 cm (el borde libre de seguridad de las relaveras es por encima de los 100 cm.) muy por debajo del borde de seguridad, generando con ello:
 - a) El riesgo de inundación de la población de Quiulacocha, contaminación de los ríos Ragra y San Juan y contaminación ambiental de impredecibles consecuencias.
 - b) El debilitamiento del dique con riesgo de colapso.
- Como consecuencia de lo señalado por AMSAC, se han venido desarrollando coordinaciones entre el Ministerio de Energía y Minas, la Autoridad Nacional del Agua, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, el Instituto Nacional de Defensa Civil, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería; para abordar la situación descrita, en el marco de las competencias de cada entidad. En estas reuniones, se ha contado también con la participación de Empresa Administradora Cerro S.A.C.
- A modo de contingencia, AMSAC cuenta con un sistema de bombeo con una capacidad de 408 m³/h (1800GPM), para derivar aguas de la relavera Quiulacocha (pH 2.41) hacia las pozas de Garacalzon utilizando infraestructura de Cerro SAC. En este punto, la mencionada empresa manifiesta su posibilidad de efectuar el bombeo hacia la zona de Yanamate (pH 1.5 - 2.5) con un caudal aproximado de 288 m³/h. Mediante este procedimiento, considerando los pronósticos de lluvias moderados, se estima retirar un volumen de 276,480 m³ en un período mínimo de 40 días, recuperando el borde libre sobre los 100 cm. Paralelamente, se mantendría en operación los 02 sistemas ya existentes (agua ácida y agua neutra), ello a fin de garantizar el citado borde libre.

25 /02/2021

Nacional

MINEM

✓ El Centro de Operaciones de Emergencia Sectorial del Ministerio de Energía y Minas, mediante su Reporte de Peligro N° 001-25-2-2021/COE ENERGIA Y MINAS/08:15 HORAS, informó que:

- La empresa AMSAC elaboró "Informe de Estimación del Riesgo por Peligro Inminente ante el Desembalse de la Relavera Quiulacocha en los centros poblados de Quiulacocha, Yurajhuana y Rancas, distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco", donde se concluye que el área de estudio se encuentra en riesgo muy alto.
- Con la finalidad de controlar los niveles de agua en la relavera Quiulacocha, desde el año 2016 la empresa Activos Mineros S.A.C. (AMSAC) viene desarrollando actividades de tratamiento del agua ácida de la referida relavera a través de una Planta de Neutralización.
- A la fecha, AMSAC dispone de dos sistemas de bombeo con una capacidad instalada de 316 m³/h (7,231 m³/día). Esta capacidad instalada permite a AMSAC controlar los niveles de agua en la relavera Quiulacocha con borde libre superior a los 100 cm cuando las precipitaciones no superan los 2.64 mm/día (punto de equilibrio).

ANEXO (3)
VISTAS FOTOGRÁFICAS
26 FEB 2021
RELAVERA QUIULACOCHA



Relavera Quiulacocha. Fuente AMSAC 2020



UBICACIÓN DE LAS POBLACIONES AGUAS DEBAJO DE LA RELAVERA QUIULACOCHA

Distribución: A los tres niveles de Gobierno (Nacional, Regional y Local).

CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA NACIONAL

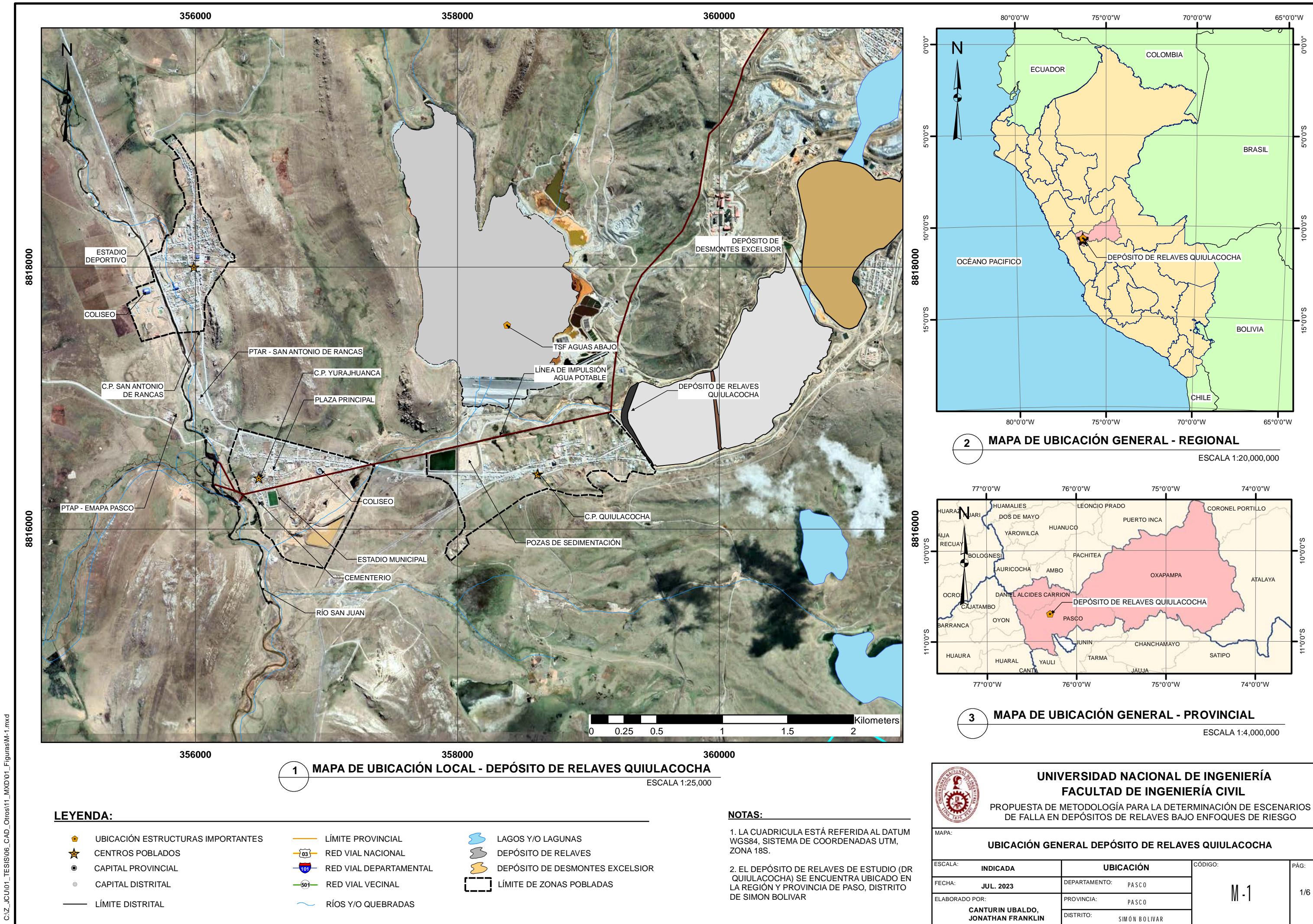
Av. El Sol, Cdra. 4 - Chorrillos, Lima - Perú.

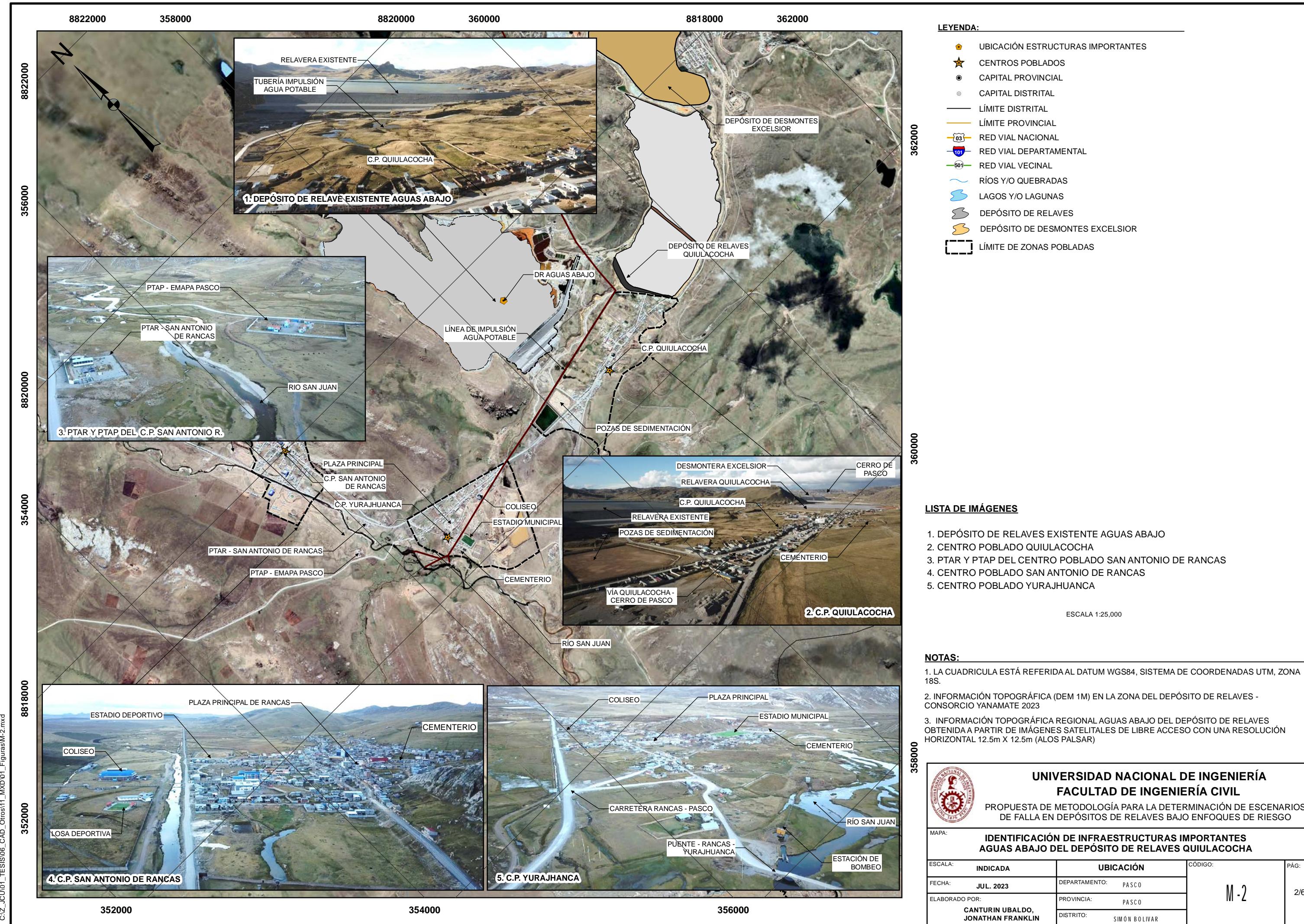
Tel. +511 224-1685 • www.indeci.gob.pe

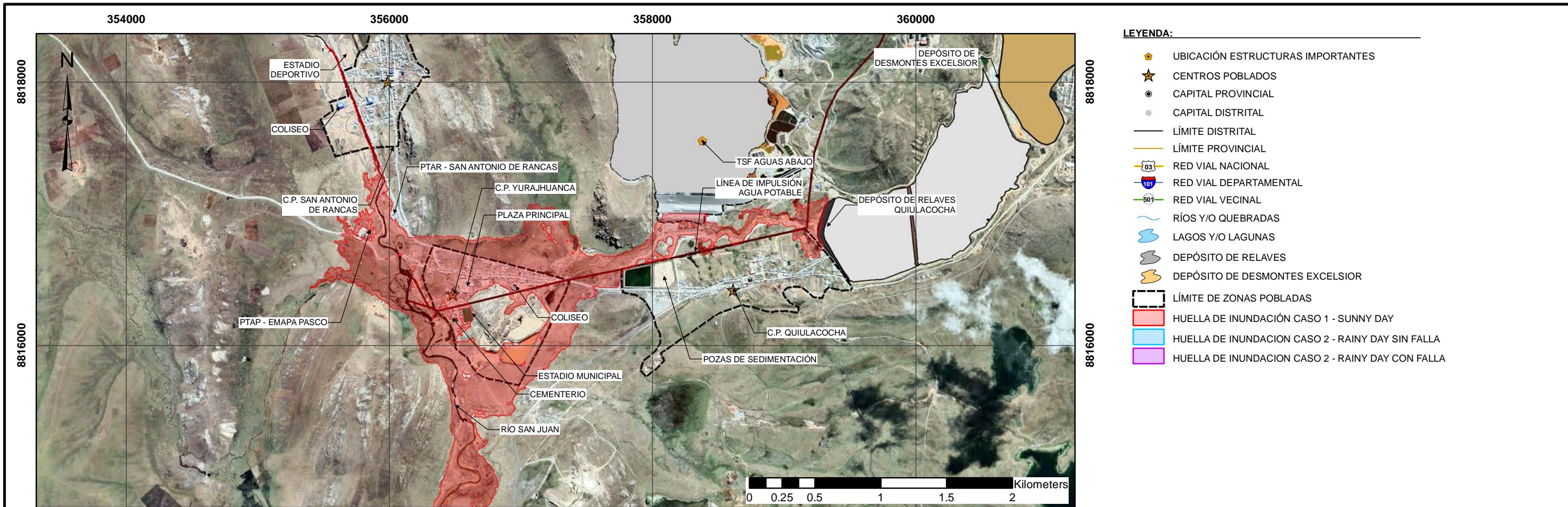
Facebook: <https://www.facebook.com/COENPeru> • Twitter: <https://twitter.com/COENPeru>

ANEXO VIII:

Mapas

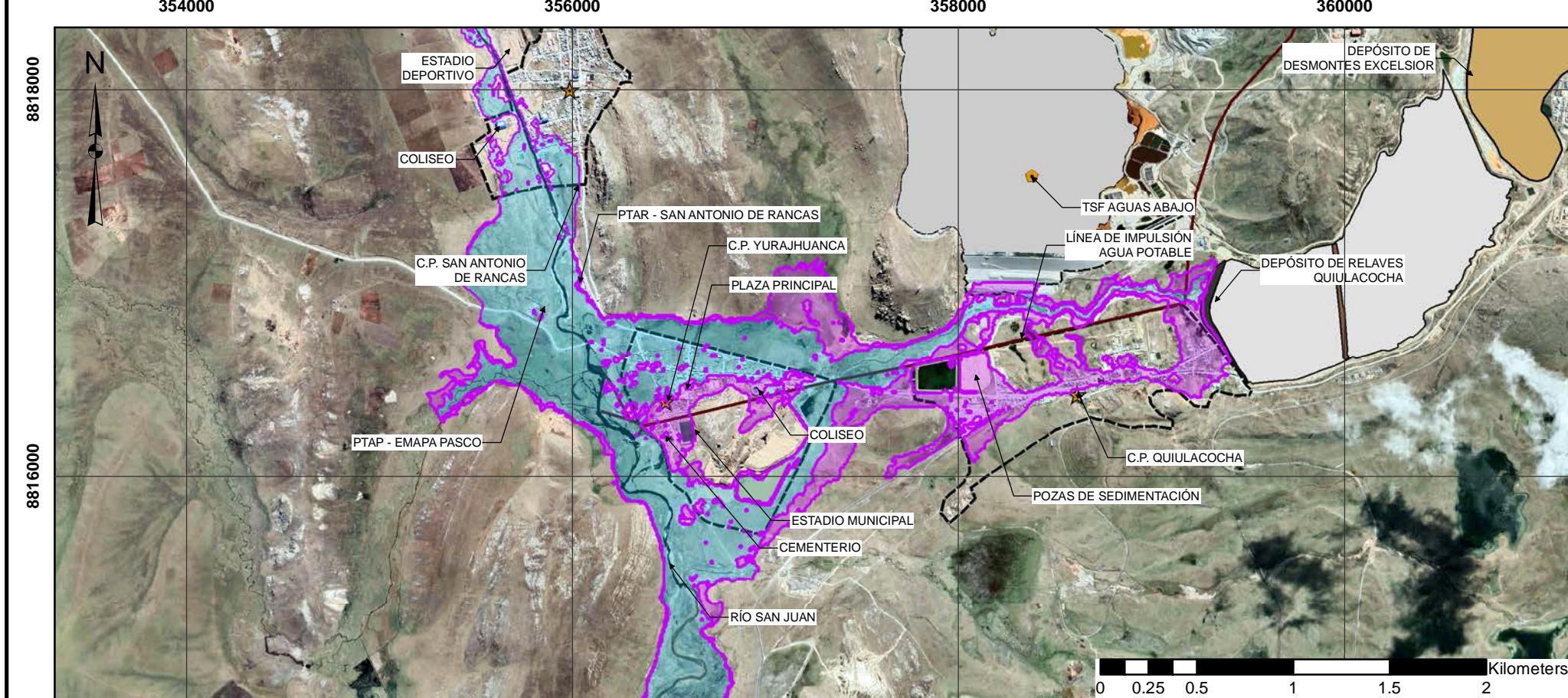






1 HUELLA DE INUNDACIÓN - MODELAMIENTO PRELIMINAR -CASO 1 - ESCENARIO SUNNY DAY

ESCALA 1:30,000



2 HUELLA DE INUNDACIÓN - MODELAMIENTO PRELIMINAR - CASO 2 - ESCENARIO RAINY DAY

ESCALA 1:30,000

NOTAS:

1. LA CUADRÍCULA ESTÁ REFERIDA AL DATUM WGS84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
2. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA (DEM 1M) EN LA ZONA DEL DEPÓSITO DE RELAVES - CONSORCIO YANAMATE 2023
3. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA REGIONAL AGUAS ABAJO DEL DEPÓSITO DE RELAVES OBTENIDA A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE LIBRE ACCESO CON UNA RESOLUCIÓN HORIZONTAL 12.5m X 12.5m (ALOS PALSAR)

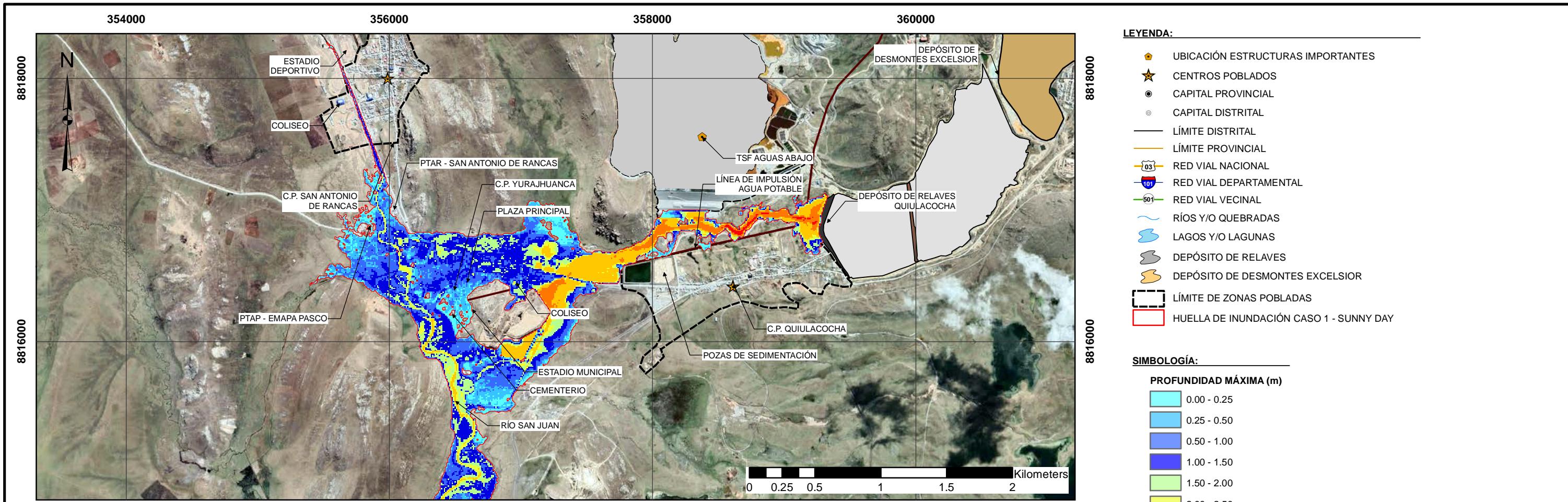


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

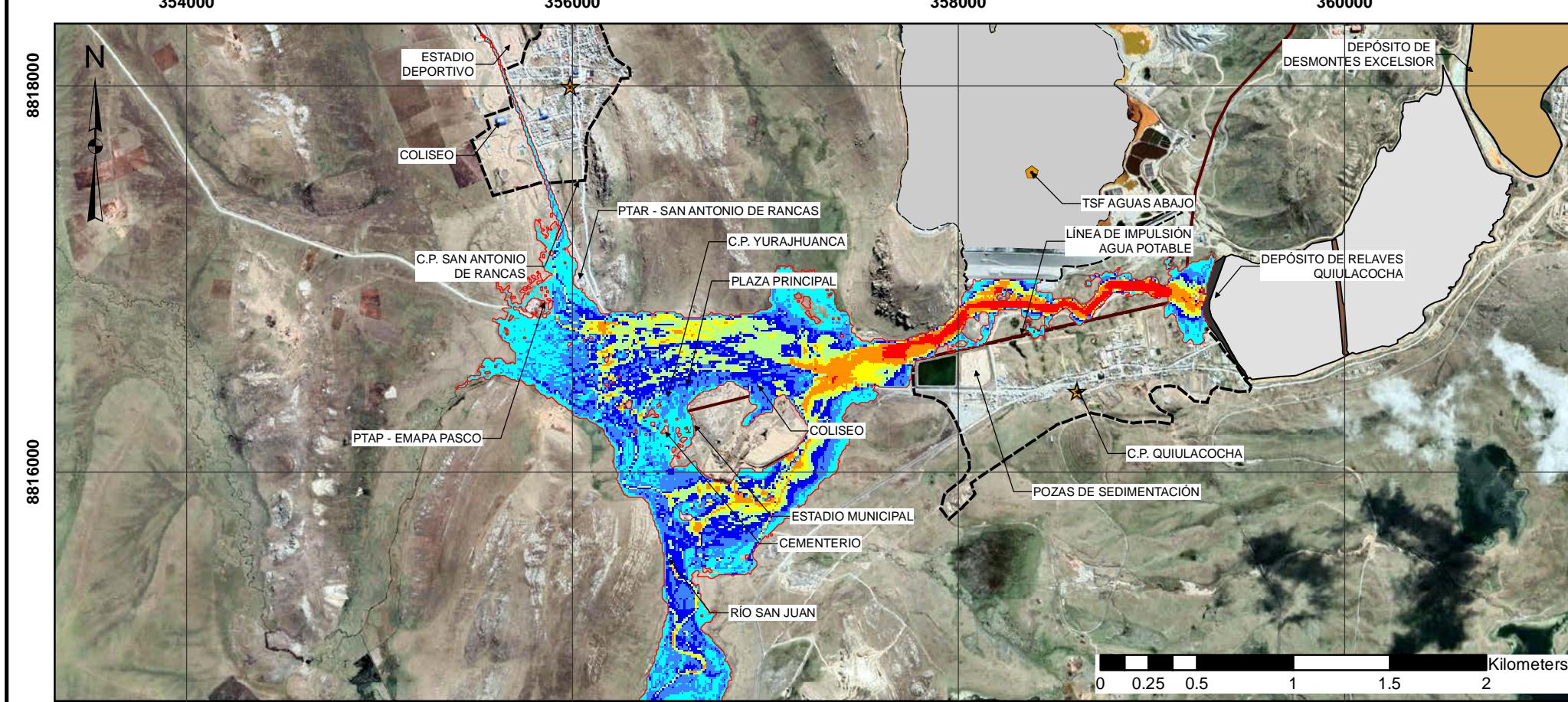
MAPA: HUELLAS DE INUNDACIÓN - ESCENARIOS PRELIMINARES DE
FALLA DEL DEPÓSITO DE RELAVES QUIULACOCHA

ESCALA:	INDICADA	UBICACIÓN	CÓDIGO:
FECHA:	JUL. 2023	DEPARTAMENTO: PASCO	M - 3
ELABORADO POR:	CANTURIN UBALDO, JONATHAN FRANKLIN	PROVINCIA: PASCO	
		DISTRITO: SIMÓN BOLÍVAR	



1 PROFUNDIDADES MÁXIMAS - MODELAMIENTO PRELIMINAR - CASO 1 - ESCENARIO SUNNY DAY

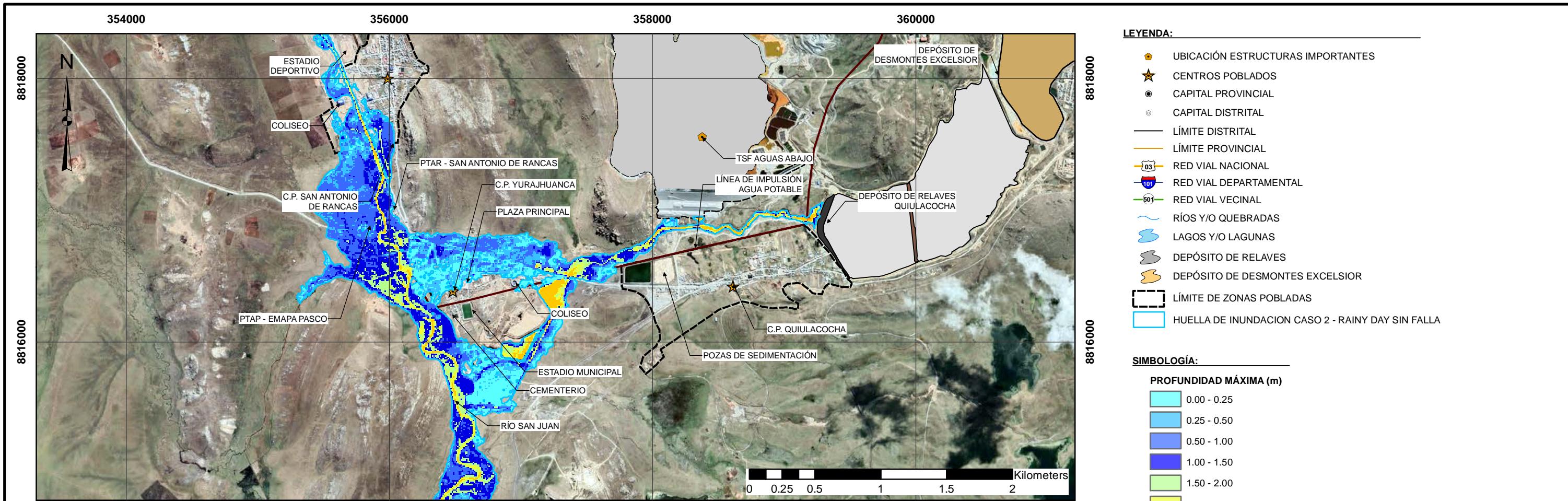
ESCALA 1:30,000



2 VELOCIDADES MÁXIMAS - MODELAMIENTO PRELIMINAR - CASO 1 - ESCENARIO SUNNY DAY

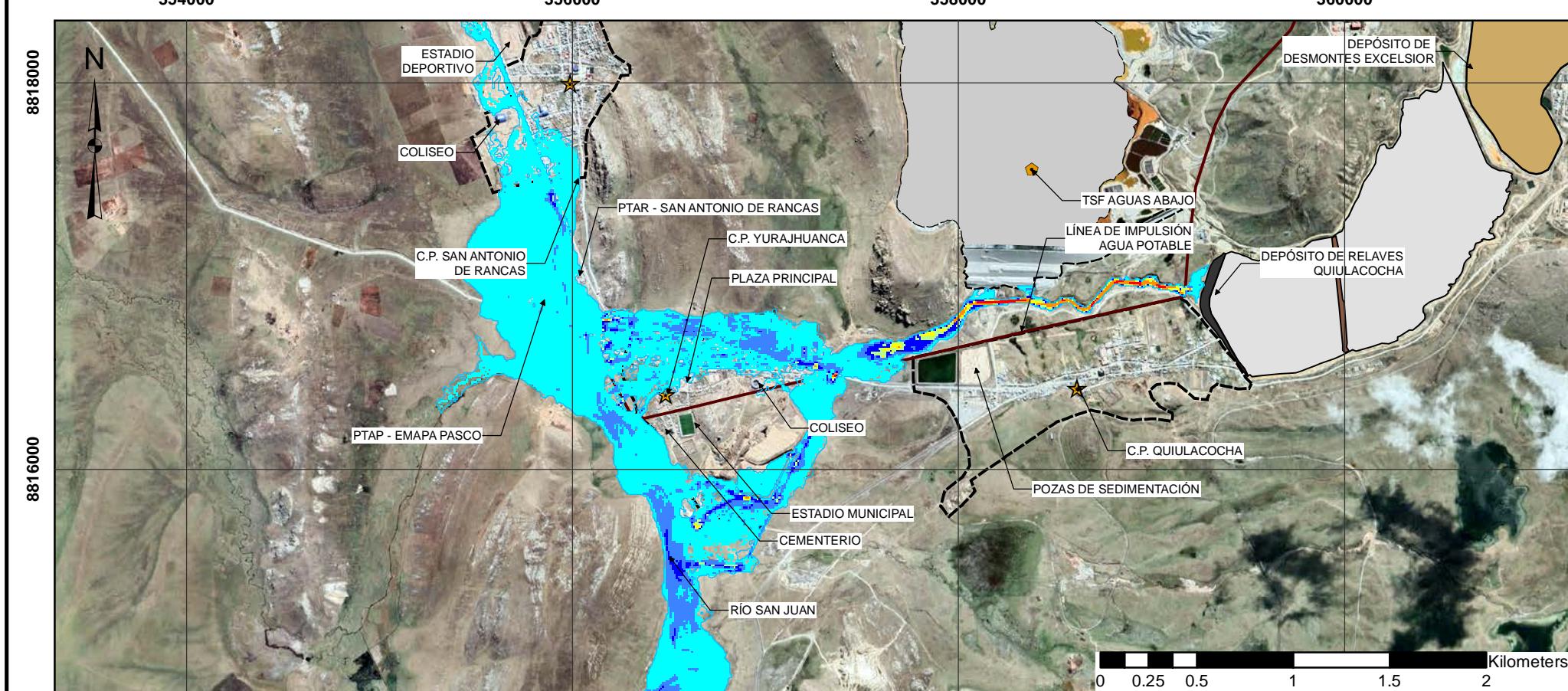
ESCALA 1:30,000

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA		PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA		PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	
MAPA:	PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES MÁXIMAS - CASO 1 - ESCENARIO PRELIMINAR SUNNY DAY		
ESCALA:	INDICADA	UBICACIÓN	CÓDIGO:
FECHA:	JUL. 2023	DEPARTAMENTO: PASCO	M-4
ELABORADO POR:	CANTURIN UBALDO, JONATHAN FRANKLIN	PROVINCIA: PASCO	
		DISTRITO: SIMÓN BOLÍVAR	
PÁG: 4/6			



1 PROFUNDIDADES MÁXIMAS - MODELAMIENTO PRELIMINAR - CASO 2 - ESCENARIO RAINY DAY SIN FALLA

ESCALA 1:30,000



2 VELOCIDADES MÁXIMAS - MODELAMIENTO PRELIMINAR - CASO 2 - ESCENARIO RAINY DAY SIN FALLA

ESCALA 1:30,000

LEYENDA:

- ◆ UBICACIÓN ESTRUCTURAS IMPORTANTES
- ★ CENTROS POBLADOS
- CAPITAL PROVINCIAL
- CAPITAL DISTRITAL
- LÍMITE DISTRITAL
- LÍMITE PROVINCIAL
- 03 RED VIAL NACIONAL
- 101 RED VIAL DEPARTAMENTAL
- 501 RED VIAL VECINAL
- RÍOS Y/O QUEBRADAS
- LAGOS Y/O LAGUNAS
- DEPÓSITO DE RELAVES
- DEPÓSITO DE DESMONTES EXCELSIOR
- LÍMITE DE ZONAS POBLADAS
- HUELLA DE INUNDACION CASO 2 - RAINY DAY SIN FALLA

SIMBOLOGÍA:

- PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)
- 0.00 - 0.25
 - 0.25 - 0.50
 - 0.50 - 1.00
 - 1.00 - 1.50
 - 1.50 - 2.00
 - 2.00 - 2.50
 - 2.50 - 5.00
 - 5.00 - 10.0
 - > 10.0

SIMBOLOGÍA:

- VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)
- 0.0 - 1.0
 - 1.0 - 1.5
 - 1.5 - 2.0
 - 2.0 - 2.5
 - 2.5 - 3.0
 - 3.0 - 5.0
 - > 5.0

NOTAS:

1. LA CUADRÍCULA ESTÁ REFERIDA AL DATUM WGS84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
2. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA (DEM 1M) EN LA ZONA DEL DEPÓSITO DE RELAVES - CONSORCIO YANAMATE 2023
3. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA REGIONAL AGUAS ABajo DEL DEPÓSITO DE RELAVES OBTENIDA A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE LIBRE ACCESO CON UNA RESOLUCIÓN HORIZONTAL 12.5m X 12.5m (ALOS PALSAR)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

MAPA:

PROFUNDIDADES Y VELOCIDADES MÁXIMAS - CASO 2 -
ESCUENARIO PRELIMINAR RAINY DAY SIN FALLA

ESCALA:

INDICADA

UBICACIÓN

CÓDIGO:

FECHA:

JUL. 2023

DEPARTAMENTO:

PASCO

PÁG:

ELABORADO POR:

CANTURIN UBALDO,
JONATHAN FRANKLIN

PROVINCIA:

PASCO

DISTRITO:

SIMÓN BOLÍVAR

M-5

5/6

