

Presas de residuos mineros: causas de fallo y propuestas para evitarlos

Tailings Dams: Causes of Failure and Proposals to Avoid Them

Pablo Reinoso Grau^{1*}, Claudio Olalla Marañón²

Resumen

Dentro de las diferentes tareas que se desarrollan en un proyecto de explotación minera, se encuentra la referente al depósito que se debe construir para los residuos originados en ella, que, pese a ser una de tantas estructuras dentro del proyecto, es muy incidente a la hora de fallar. Su incidencia radica en 3 áreas fundamentales:

- En el medio ambiente que lo rodea.
- En la población cercana al proyecto.
- En los costes involucrados tanto en las tareas de Operación como en las de Reparación.

En este texto se quiere mostrar los aspectos más relevantes del análisis de las diferentes variables que posibilitan esas fallas y las propuestas para evitarlas, que se desarrollan en la tesina presentada en el Master de Mecánica de Suelo e Ingeniería Geotécnica que impartió el CEDEX durante el 2015. Se pretende, así, reforzar y aportar recomendaciones que ayuden a solventar estos problemas.

Palabras clave: Relave Minero, ICOLD, UNEP, ICMM, Sernageomin, Fallas en Relaves Mineros.

Abstract

Among the different tasks carried out in a mining project, there are the ones in regard to the reservoir being built for residues originating in it, and although it is one of many structures within the project, it stands out when failing. Its incidence lies in three key areas:

- *In the environment that surrounds it.*
- *In the population close to the site.*
- *The costs involved in both the operation and repair .*

This text deals with the most relevant aspects of the analysis of the different variables that enable these failures and, also, the proposals to avoid them, all of which was developed in the thesis presented in the Master of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering provided by CEDEX in 2015. Thus, it aims to reinforce and contribute with recommendations to help tackle these problems.

Keywords: Tailings Dam, ICOLD, UNEP, ICMM, Sernageomin, Mineral Tailings Failures.

1. INTRODUCCIÓN

En todo proyecto de extracción minera se originan materiales de residuos los cuales se deben depositar en algún lugar. Debido a esta necesidad es que se originan las Presas de Residuos Mineros (Relave Minero), en cuya estructura se alberga todos los desechos que se producen en los procesos involucrados en la extracción del mineral.

Estas estructuras deben ser diseñadas, ejecutadas y controladas siguiendo la totalidad de los conceptos involucrados en toda presa. Agregando las condicionantes referidas al trabajo específico que tenga el proyecto minero. En el transcurso de los últimos años estas estructuras han presentado diversas fallas que afectan a su entorno medio

ambiental, de salud y urbanístico de los sectores colindantes de ellos.

Con lo anterior, resulta relevante determinar cuáles serían las variables más incidentes que hacen que este tipo de estructura fallen, debido a que conocido el origen, es posible de manera simple, encontrar alternativas de acciones que logren aminorar dichas fallas y con ello las consecuencias involucradas.

Para ello en este estudio se deben repasar las siguientes temáticas:

- Presa de Residuo Minero.
- Fallas recurrentes en una Presa de Residuo Minero y sus consecuencias.
- Variables más incidentes en una falla de Presa de Residuos Mineros.
- Propuestas de Acciones para evitar las fallas en una Presa de Residuos Mineros y sus consecuencias.
- Conclusiones.

* Autor de contacto: pablo.reinoso@cors-ingenieria.es

¹ Ingeniero Civil, alumno de Master CEDEX 2015.

² Doctor ingeniero en Caminos, Tutor Tesina Pablo A. Reinoso Grau en CEDEX 2015.



Figura 1. Ejemplo de Relave en Chile proporcionada por Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería en Chile).

1. PRESAS DE RESIDUOS MINEROS

Las presas de relaves se construyen para retener los residuos mineros que se originan de su explotación. Presentan muchas características en común con las presas de terraplén construido para retener depósitos de agua. Mientras que los métodos utilizados para el diseño y la construcción de presas de terraplén puede aplicarse a tranques de relaves, existen algunas diferencias entre los dos tipos:

- En las presas de terraplén sus estructuras se utilizan para almacenar de forma rentable el agua, mientras que en presas de relaves se utilizan para el almacenamiento de residuos no deseados, con un mínimo costo.
- Las presas de terraplén se construyen generalmente a la altura máxima durante un período de construcción, habiendo sido diseñadas y supervisadas en su construcción por ingenieros competentes, apoyados por la normativa presente en los diversos países, por otro lado las modernas presas de relaves son a menudo diseñadas por ingenieros consultores competentes, pero se construyen lentamente en etapas durante muchos años, y con ello las condiciones también pueden cambiar con el tiempo y la supervisión de su construcción puede llegar a ser deficiente.

Desde el punto de vista de los tipos de residuos mineros, estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

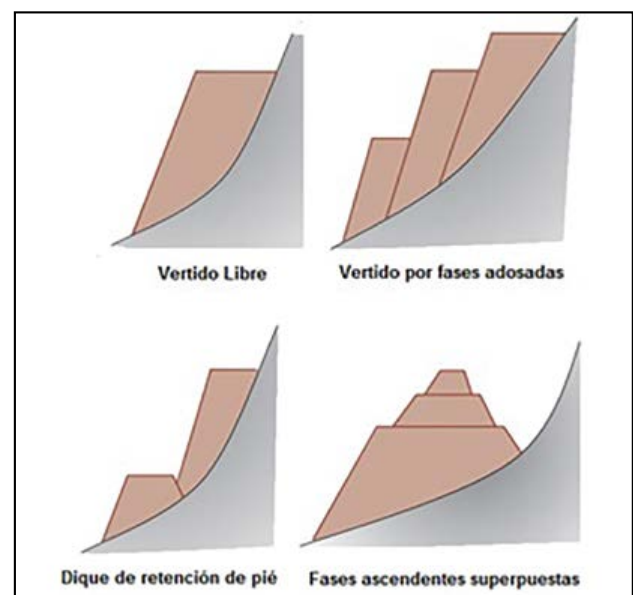
1. Los provenientes estrictamente de la actividad extractiva que por no poseer contenido de mineral valioso no han sido sometidos a ningún proceso de concentración.
2. Los provenientes de los procesos de concentración aplicados a los minerales extraídos.
3. Los provenientes del asentamiento humano.

Si el enfoque es el Proceso Constructivo los relaves mineros se clasifican en:

a) Escombreras:

Es una instalación de residuos mineros construida para el depósito de estos en superficie. En ella se logra el almacenamiento de fragmentos gruesos y medianos, en forma de montón, (adaptado normalmente a la disponibilidad del terreno) y que no presentan por si mismos riesgos de desplazamientos. Se debe mantener en su deposición la pendiente máxima de estabilidad de los materiales durante su colocación para evitar desplazamientos incontrolados y suavizar está pendiente cuando se abandona el almacenamiento definitivamente o este se realiza para un tiempo prolongado. No necesita, normalmente, estructuras de soporte o resistentes con la excepción de aquellos elementos de limpieza y desagüo necesarios. Puede ser necesario, a veces, estructuras de cabeza para aumentar la capacidad de almacenamiento.

A continuación se presentan un esquema de sus diferentes procesos constructivos:

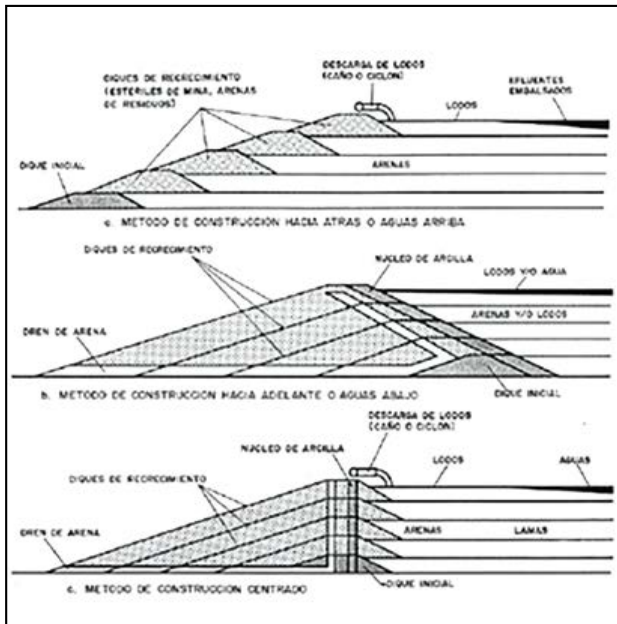


Esquema 1. Tipo de Escombrera según proceso constructivo (obtenido de www.empremin.org.ar).

b) Presas:

Son necesarias para el almacenamiento de arenas y lodos que tienen un comportamiento plástico o semifluido. Los materiales no son estables en montones si no existe un medio de contención. Exigen estructuras o sistemas de vertido controlado para asegurar la estabilidad y el drenaje.

A continuación se presentan un esquema de sus diferentes procesos constructivos:



Esquema 2. Tipo de presa de relave según proceso constructivo (obtenido de texto de la Universidad de Cantabria).

c) Balsa:

Es una instalación de residuos mineros natural o artificial, construida para la eliminación de residuos mineros de grano fino junto con cantidades diversas de agua libre, resultantes del tratamiento y beneficio de recursos minerales y del aclarado y reciclado del agua usada para dicho tratamiento de beneficio.



Figura 2. Tipo de balsa minera (obtenida de imágenes de asturgalicia.net).

2. FALLAS RECURRENTES EN SITIOS DE ACOPIO DE RESIDUOS MINEROS Y SUS CONSECUENCIAS

Para lograr definir las fallas de mayor recurrencia en los sitios de acopio de residuos mineros se ha efectuado un estudio de recopilación de antecedentes enfocado en 4 puntos de revisión específico:

1. Boletín 121 de la ICOLD.
2. Boletín 139 de la ICOLD.
3. Fallas ocurridas en la actualidad.
4. Actividad actual frente a la temática.

A continuación se entregan los antecedentes básicos que se obtienen en las revisiones efectuadas.

2.1. Boletín 121

El Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), en el año 2001 presentó el Boletín 121: Presas de relaves, riesgo de sucesos peligrosos y las lecciones aprendidas de las experiencias prácticas.

El Boletín ha sido elaborado por el Subcomité británico en tranques de relaves, utilizando con el permiso y el acuerdo, la colección USCOLD de 185 expedientes publicado en 1994, los 26 casos encontrados por los Servicios de investigación Minería para el PNUMA (Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente), publicados en 1996, y 12 ejemplos conocidos por los miembros del Comité de ICOLD. Durante la compilación final de los registros de casos, se encontraron algunas duplicaciones, por lo que el número total se convirtió en 221, los cuales fueron analizados en el boletín.

Este Boletín ha sido revisado tanto por el Comité ICOLD en tranques de relaves y Residuos Lagunas y por el PNUMA. Valiosos comentarios también se han recibido de la Comités Nacionales de ICOLD. Se les da un análisis breve detallando y discutidos en términos generales cada uno de ellos. Las principales causas de estos casos de fallas y los incidentes fueron la falta de control del balance de agua, la falta de control de la construcción y una falta

general de comprensión de las características que controlan la seguridad de las operaciones. Había uno o dos casos de acontecimientos imprevisibles y otros casos causados por inesperadas condiciones climáticas, incluyendo terremotos.

El estudio de los casos que figuran en este boletín puede dar una idea del comportamiento de un tranque de relave. Una evaluación general de las lecciones aprendidas de esta colección de registros de casos se da en los siguientes puntos:

1. A pesar que la comprensión del comportamiento de las presas de terraplén ha mejorado hasta el punto de que pueden ser diseñadas para comportarse correctamente y muchas de las características de diseño se puede aplicar al de tranques de relaves, estas continúan fallando. Durante la década 1979-1989 hubieron 13 fallas. La década anterior, desde 1969 hasta 1979 tenían al menos un fallo todos los años y la década más reciente, 1989-1999 existieron 21 fallos. Hay que destacar, sin embargo, que las fallas pueden ocurrir sin alcanzar el dominio público. Sólo los casos más graves que atraen a los medios de comunicación son los que se publicitan.
2. Se puede argumentar que las fallas se deben a una gestión inadecuada. El arte y la ciencia de la ingeniería geotécnica y la geología, más el detalle en estudios de investigación sobre el comportamiento de las presas de terraplén (De almacenamiento de agua), ha dado a los diseñadores información suficiente para permitir un diseño de presas de relaves en forma segura, pero ello no se aprecia. En muchos otros países, las presas (De almacenamiento de agua) por ley, son continuamente supervisadas para comprobar su comportamiento satisfactorio. A menudo no parece haber ninguna persona responsable en la carga que se ejecuta en las presas de relaves y es más notorio que ellas no se encuentran bien instrumentadas.
3. En muchos países avanzados, como es Estados Unidos, las presas de relaves están diseñadas, construidas y operadas bajo regulaciones similares a la de las presas de almacenamiento de agua. Para estos casos una diferencia entre las dos tipología se refieren a la carga física que se desarrollan en el tiempo, lo que significa 2 áreas de análisis:
 - a) Su Proceso Constructivo.
 - b) El aumento progresivo de carga en la cimentación en el tiempo.
4. La falta de control del régimen hidrológico es uno de las más comunes causas de fallo. De los casos presentados en el boletín 121, la mayoría de los fallos fueron debido al desbordamiento, inestabilidad de laderas, filtraciones y erosión; todo causado por una falta de control del balance de agua dentro de los embalses. El daño por decantación vertical puede ser causada por la consolidación en los relaves y rozamiento negativo que inducen alta carga vertical. El efecto del hielo uniéndose a una torre de decantación puede imponer flexión perjudicial y momentos torsores causados por cambios en el nivel del agua y la fuerza del viento. El aumento en la carga en las al-

cantarillas que pasan debajo de una presa, particularmente cuando la altura se ha aumentado para dar capacidad de diseño anterior, este daño por aplastamiento puede evitar la descarga adecuada, particularmente durante condiciones excepcionales.

5. Condiciones insatisfactorias de la cimentación que no siempre se pueden detectar durante la investigación realizada en la etapa de diseño.
6. A muchas presas de relaves no se les proporcionó un drenaje adecuado y, a menudo, particularmente cuando el registro de propiedades ha cambiado de manos, estos no estaban disponibles.

2.2. Boletín 139

Este boletín fue redactado por una comisión de la ICOLD, conformada por especialistas de 19 países y que tratan sobre las mejoras en la seguridad en presas de relave, sus aspectos críticos en la gestión, diseño, operación y cierre de estas.

Los muchos factores relacionados con la mejora de la seguridad en las presas de relaves fueron presentados por el conjunto de los miembros del comité de expertos de diecinueve países del mundo. El texto fue solicitado por la Comisión Nacional de tranques de relaves de Suecia y recibió aportes de otros países y organizaciones como el PNUMA y el ICMM (Consejo Internacional de Minería y Metales).

Este boletín busca proporcionar una herramienta para los relaves en la industria de las represas, estimulando a la gestión corporativa y una consolidada fuente de referencia y directrices específicas para los administradores, diseñadores y operadores con un fin de aumentar la seguridad de presas de relaves. Los temas que se tratan en este boletín, se resume en los siguientes puntos:

- Es esencial que los parámetros de diseño deben ser plenamente investigados y comprendidos, tanto antes de la puesta en marcha como durante la operación de la presa, a fin de proporcionar un nivel de aseguramiento alto en estas presas. Pruebas regulares de laboratorio respaldado por ensayos in situ deben llevarse a cabo como procedimiento obligatorio.
- Las operaciones de relaves pueden ser constituidas en cuatro fases separadas pero inter-relacionadas. Estas son:
 - Diseño
 - Construcción
 - Operación
 - Cierre o finalización

Cada una de ellas requiere una cuidadosa atención en los temas ambientales.

2.3. Eventos recientes

2.3.1. Almacenamiento de Relaves Mount Polley

Tres terraplenes contiguos limitan el depósito de relaves Monte Polley (Inglaterra). De éstos, el denominado Embankment, donde se produjo el fallo, fue el flanco norte del relave en cuestión.

En el momento fallo, el depósito Monte Polley estaba con permiso del Ministerio de Energía y Minas, para aumentar su cresta por 2,5 metros. El fallo se produjo el 4 de agosto de 2014, a una elevación de cresta 1 metro por debajo de su elevación permitida. Su pérdida de contención fue repentina, con ninguna advertencia. La elevación del estanque registrado a las 6:30 pm del 03 de agosto 2014 fue de 2,3 metros por debajo de la cresta.

A raíz de lo anterior, el Gobierno Inglaterra, a través del Ministerio de Energía y Minas, estableció una investigación de expertos independientes para investigar e informar sobre lo ocurrido.

El proceso de la investigación presento los siguientes pasos:

- Investigar e informar sobre la causa del fallo de la instalación de almacenamiento de relaves que se produjo el 04 de agosto 2014 en la mina de Monte Polley
- Hacer recomendaciones al Gobierno sobre las medidas que podrían adoptarse para asegurarse de que un fallo semejante no ocurra en otros sitios mineros.
- Identificar cualquier técnica, de gestión o de otras prácticas que pueden haber permitido o contribuido al mecanismo(s) de fallo. Esto puede incluir una revisión independiente del diseño, construcción, operación, mantenimiento, vigilancia y regulación de la instalación de almacenamiento de relaves.
- Identificar los cambios que se podrían considerar para reducir el potencial eventos futuros de estas características.

En el informe se concluye que la contribución dominante a la falla reside en el diseño.

El diseño no considero la complejidad del entorno geológico sub-glacial y pre-glacial asociado con el cimiento del terraplén en cuestión. Como resultado de ello, las investigaciones de la fundación y la caracterización del sitio asociado no identificaron una capa continua estratigráfica en la vecindad del fallo, por ende fue imposible reconocer que era susceptible a la inestabilidad sin escurrimiento cuando se someten a las tensiones asociadas con el terraplén.

Además en los detalles de la falla se infiere que fue provocada por la construcción en la zona de escollera aguas abajo una pendiente empinada de 1,3 a 1,0 (Horizontal-vertical). Diferente a una pendiente a 2,0 a 1,0 (Horizontal-vertical), como se propone en el diseño original.

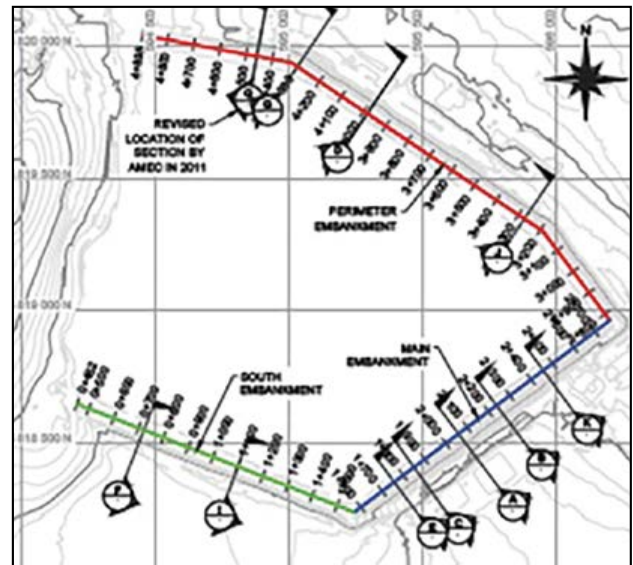


Figura 3. Emplazamiento Relave Minero Mount Polley, Inglaterra (obtenida de "Report on Mount Polley Tailings Storage Facility Breach").

Como se ha mencionado anteriormente, el incumplimiento en la presa de relaves de Monte Polley surgió debido al fallo en la fundación del terraplén Norte.

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM) los requisitos para el diseño con respecto a la estabilidad general deben cumplir con las directrices vigentes del país.

La que específica para una presa en construcción y antes del llenado del depósito un factor de seguridad (FS) de 1.3 donde:

$$FS = \frac{\text{Fuerza Disponible}}{\text{Fuerza necesaria para el equilibrio}} \quad [1]$$

Es decir, el diseño requiere una resistencia de reserva por encima de la requerida para mantener el equilibrio y con esta resistencia de reserva, se espera que la estructura se llevará a cabo de una manera segura. Este criterio ha sido aceptado para tranques de relaves durante la construcción, con

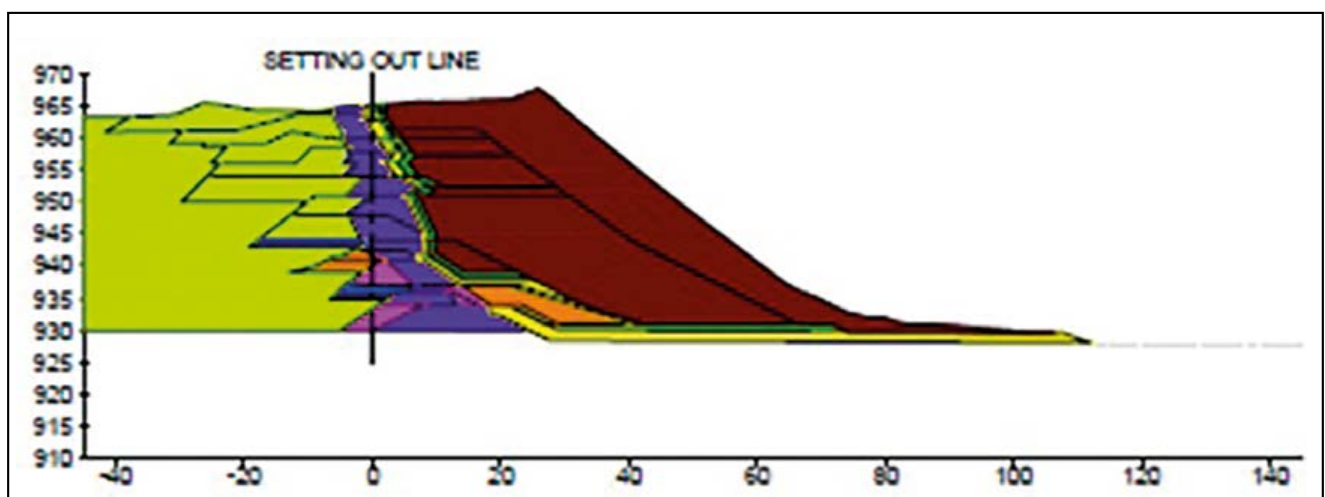


Figura 4. Perfil terraplén que fallo (obtenida de "Report on Mount Polley Tailings Storage Facility Breach").

un FS mayores requerido si la presa tiene una larga vida útil después de que se ha llenado.

Muchos modos de fallo potenciales tienen que ser considerados para cumplir con los requisitos que $FS = 1,3$. Es obligación del diseñador, en reconocer los modos de fallo potenciales en la estructura de análisis.

Con lo anterior se adopta un método de análisis apropiado para calcular el FS y se debe asegurar que el $FS \geq 1,3$ durante la construcción de la presa.

En el momento de la Etapa 4 (2006 - 2007), el Ingeniero a cargo había propuesto un diseño para el Embankment con un 2H: 1V, talud de aguas abajo, elevación del núcleo y un filtro con una alineación en paralelo en forma inclinada.

Este diseño se representa en la imagen siguiente. Se adopta una relación de resistencia no drenada de 0,27 y un alto nivel freático. El FS calculado es 1.02., mucho menor que el objetivo de diseño de 1,3.

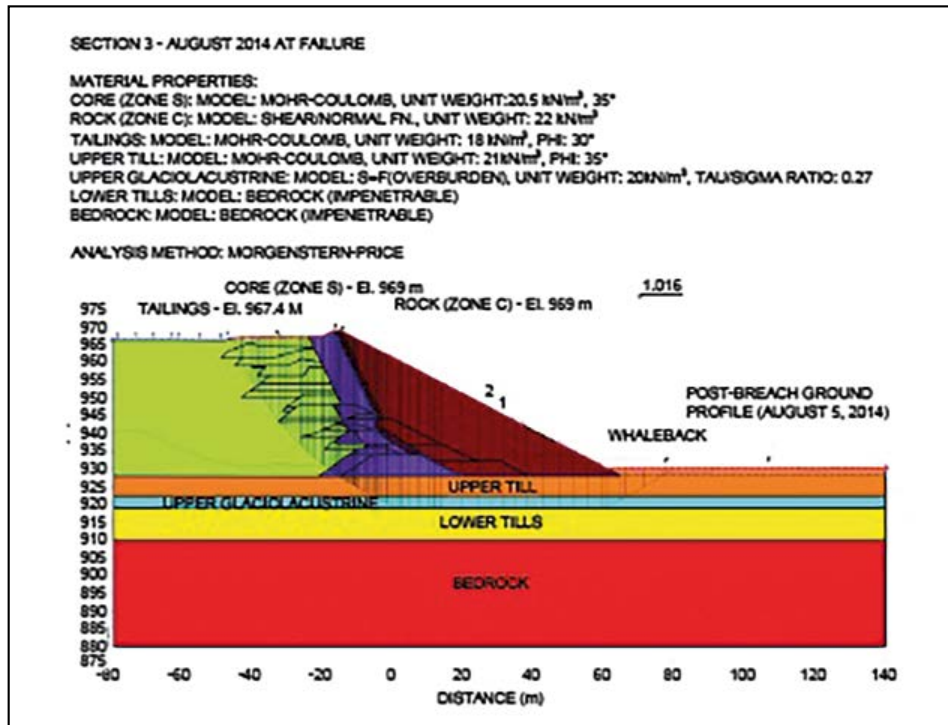


Figura 5. Modelación terraplén que fallo (obtenida de "Report on Mount Polley Tailings Storage Facility Breach").

A continuación se presenta una gráfica que evidencia el decrecimiento del factor de seguridad a medida que aumentaba la altura del terraplén.

Tabla 1. Evolución del FS en el tiempo (obtenida de "Report on Mount Polley Tailings Storage Facility Breach")

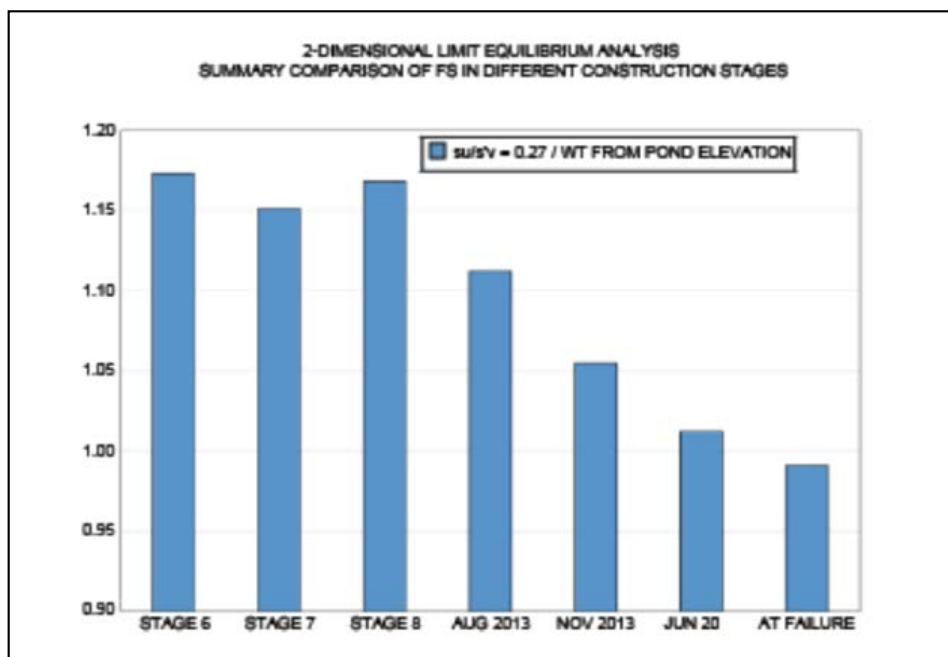




Figura 6. Emplazamiento de Relaves Mineros en la ciudad de Copiapó, Chile (Raimundo Contreras / resumen.cl).

2.3.2. Desastre en Tercera Región en Chile

Durante décadas, diversas organizaciones y comunidades han estado denunciando los graves impactos ambientales y sociales de la industria minera en Chile. Junto a los cauces de los ríos del norte se ubican tanto pueblos y ciudades como también las grandes faenas extractivas. Sus desechos, que incluyen metales pesados como Arsénico, Mercurio, Cadmio, Plomo y Cobre, generan graves problemas de salud en la población. Estos tranques de relaves mineros se depositan “normalmente” en quebradas cercanas a pueblos y ciudades, como se aprecia en la siguiente figura:

El Desierto de Atacama corresponde al desierto más árido del planeta, con precipitaciones en torno a los 4 [mm/año]. La ausencia de vegetación genera laderas inestables donde el material puede ser fácilmente movilizado.

Cuando el martes 24 de Marzo del 2015, comenzaron las lluvias que transformaron el Desierto de Atacama en un lodazal, el peor miedo de la población luego de los aludes era una catástrofe sanitaria debido a la contaminación acumulada durante décadas en los cientos de tranques dispersos por toda la región. En la quebrada del río Copiapó la situación es particularmente grave porque hay muchos relaves abandonados, con poca o nula información acerca de su estado, y que quedan sin siquiera un plan de cierre.

La población se vio expuesta a aguas servidas, animales muertos y restos de relaves mineros. Esta situación se repitió también en la ciudad de La Serena, perteneciente a la cuarta región de Chile.

Existen más de 600 tranques de relave catastrados, de los cuales 214 están activos, 244 inactivos y 143 no presentan información ya que se encuentran abandonados. Cabe destacar que en este contexto, el peligro asociado a la filtración de minerales y elementos hacia las napas subterráneas es constante, ya que casi ningún relave en Chile presenta mallas impermeabilizantes bajo las arenas compactadas en las que se construyen. En ese sentido, la actual situación



Figura 7. Situación de Relaves Mineros en La Tercera Región, Chile (Raimundo Contreras / resumen.cl).



Figura 8. Desastre la Tercera Región, Chile (www.soychile.cl).

de “normalidad” expuesta por las autoridades con respecto a los relaves, es la de una contaminación histórica que ha destinado territorios al sacrificio.

2.3.3. Congreso y reunión del ICOLD en Noruega, Junio del 2015

En este Congreso se trataron diversos temas relacionados con el avance que se tienen en las presas de escolteras en el mundo. Además se consideró en forma especial el tratamiento sobre las presas de relaves, poniendo en conocimientos los últimos avances desarrollados en ellas, demostrando con ello que es un tema vigente para su análisis.

Todos los temas abordados se identificaban con un número de pregunta. Para el caso del tema sobre las presas de relave se identificó como Pregunta 98. En ella se aborda el tema sobre "terraplén y tranques de relaves".

Se desarrollaron 41 artículos de 23 comités nacionales de diferentes países que pertenecen a ICOLD para la pregunta 98. Específicamente para el tema de presas de relave se desarrollaron 9 artículos.

3. VARIABLES MÁS INCIDENTES EN UNA FALLA DE PRESA DE RESIDUOS MINEROS

Al estudiar los antecedentes recopilados en el capítulo anterior se ha establecido las variables que más inciden en el origen de una falla en una represa de relave minero.

Es de suma relevancia llegar a esta etapa, debido a que contando con las variables que afectan en forma directa al riesgo de fallo en una presa de relave se podrán determinar las medidas que logren que dichas variables disminuyan su incidencia.

Cabe destacar que las variables que se detallaran a continuación se han logrado determinar gracias a un análisis histórico en base a lo que ha presentado ICOLD en 2 boletines relevantes en este tema, complementado con 2 casos recientes en donde se evidencia que la problemática persiste a nivel mundial, además de las conclusiones obtenidas para este tema en el último congreso de grandes represas efectuado en Noruega durante Junio del año 2015.

3.1. Boletines 121 y 139 de la ICOLD

La operación hidráulica es un aspecto esencial para la seguridad de las presas de relaves. Los mecanismos de fallas más frecuentes son los siguientes:

- Deslizamientos
- Terremotos
- Sobrepaso
- Tubificación
- Falla de estructuras auxiliares

3.2. Eventos recientes

Dentro de los casos reciente revisados existen variables que se reiteran y que han sido causante de las trágicas consecuencias originadas por la falla. Las más destacadas son:

- Ubicación deficiente de la presa de relave.
- Catastro de presas de relave sin utilidad para evitar los riesgos que pudieran presentar estas.
- Se presentan análisis parciales de la vida útil de la presa.
- Control parcial de la situación general en las presas de relave.
- Contar con responsables incompetente frente al tema.
- No se cuenta con la instrumentación y metodologías necesarias con la tecnología actual correspondiente.

4. PROPUESTAS DE ACCIONES PARA EVITAR LAS FALLAS EN UNA PRESA DE RESIDUOS MINEROS Y SUS CONSECUENCIAS

Siguiendo el proceso lógico de esta investigación, quiere decir:

1. Comenzar con una recopilación de antecedentes referidos a fallas registradas en forma oficial que se han producido en diferentes presas de relave en el mundo.

2. Seguir con la detección de las características que tuvieron dichas fallas. Pasando por un análisis abarcando su causa técnica y las consecuencias correspondientes.
3. Determinar las causas más recurrentes que han afectado que se produzcan dichas fallas.

Ahora queda, contando con los pasos anteriores, determinar procedimientos que apoyen a disminuir la posibilidad de falla. Para ello tendremos 2 grupos de propuestas, la que indica la ICOLD, a través de los boletines publicados y por otro lado las que se originan tras revisar los distintos casos.

4.1. Propuestas de la ICOLD

1. Piezómetros correctamente colocados y tomas de agua de tubos abiertos pueden mostrar los niveles de la superficie freática y dar aviso de las condiciones peligrosamente altas. Siempre se debe prever la posibilidad de desviar el agua y descargar a distancia. Una alternativa de descarga, posiblemente en otro embalse, debe estar siempre disponible. La eliminación de agua del estanque debe ser un proceso continuo e ininterrumpido.
2. Arreglos insatisfactorios a la salida diseñada no deben ser autorizados. Instalaciones de decantación y/o bombas de barcazas de reserva deben estar disponibles para casos de emergencias. Cualquiera de estas instalaciones se deben probar regularmente para asegurar que van a trabajar cuando sea necesario. Las alcantarillas deben ser monitoreadas e inspeccionadas periódicamente para detectar los primeros signos de mal funcionamiento. Todos los embalses y sus presas de retención tienen que ser capaces de resistir a eventos hidrológicos extremos.
3. Se debe realizar mediciones de movimientos en la presa, usando inclinómetros profundos y conocer de las condiciones de presión de poros en los terrenos de cimentación.
4. Es conveniente que la condición de la presa se determine en forma estricta por una inspección del sitio y una completa investigación geotécnica. Cuando existen ausencias del personal competente, la instrumentación puede ser instalada, para que el comportamiento de la presa se pueda observar durante su uso en forma continua.
5. Tener a alguien a cargo de las presas en todo momento, con el apoyo de buena instrumentación y la inspección periódica y revisión deberían ser un requisito mínimo.
6. El costo del seguro contra rotura de las presas de relaves y sus consecuencias debieran ser extremadamente altos, de tal manera las empresas dueñas de ellas se incentiven a un mejor trabajo de diseño, ejecución y control de ellas.
7. Cabe señalar que en diversos lugares en el mundo, un embalse de relave no puede iniciar la operación sin la aprobación previa del ente regulador, que normalmente requieren tanto una revisión técnica interna, así como una opinión pública de los planes de diseño, operación y recuperación para dicho embalse.

8. La capacitación de todo el personal, incluyendo los propietarios de los proyectos es necesario para contar con personal con experiencia y capaces de asumir la responsabilidad para el diseño, construcción, operación y control de la presa de relaves.
9. La monitorización continua del proceso de deposición es esencial durante la vida de la presa. Los resultados del monitoreo puede indicar la necesidad de diseño o modificaciones en la operación.

4.2. Propuestas al revisar los casos ocurridos:

Determinando las causas más recurrentes de fallas detectadas en presas de relaves, se detallan a continuación las acciones generales que apoyaran, según el criterio de este estudio, a la disminución de los efectos producidos:

- Por ser la humedad el parámetro fundamental detectado en el análisis de falla, se recomienda un control, en base a mediciones constantes durante toda la vida de la presa, inclusive después de su cierre. Dentro de este control no pueden faltar las mediciones sobre el nivel freático y el agua capilar presente.
- Se recomienda contar con muro de contención que sirva de barrera pasiva frente a cualquier flujo que se pudiera producir debido a las fallas que se pudieran originar.
- Se debe conocer el comportamiento que tendrán los diversos elementos que componen a una presa durante toda su existencia, por lo tanto, debe ser una exigencia prioritaria contar con estudios de mecánica de suelo en forma constante, o sea, previo, durante y posterior al uso activo de la presa. Además que el fundamento de cualquier decisión deberá ser dichos estudios.
- Es necesario contar con un Sistema de Gestión de Calidad durante la totalidad de la vida útil de la presa de relave, que se pudiera dividir en las siguientes partes:
 - Diseño
 - Construcción
 - Operación
 - Cierre o finalización
- Debe existir un estudio correspondiente para lograr determinar la mejor ubicación que deberá tener la presa de relave, de tal manera exista un equilibrio entre la necesidad de la empresa y los riesgos probables hacia la población y su medio ambiente.
- Debe existir un catastro de presas de relave que se tengan en cada zona determinada y que este sirva para tomar las medidas correspondientes a cada una de ellas según su estado (Ej: Activa, Parada en forma parcial, Parada en forma completa).
- Se debe tener claridad que los estudios profundos que se realicen a la presa de relave debe contar con un análisis para toda la vida útil de la presa, el cual es el fundamento técnico para los diseños correspondientes que se tendrán que asumir.
- Debe existir un responsable competente de las diversas acciones que se adopten referente a la presa de relave, para ello debiera ser ingeniero competente en el área de la geotecnia y con experiencia.

5. CONCLUSIONES

a) Fue necesario determinar las fallas típicas que se presentan normalmente en una presa de residuos mineros. Para ello se efectuó un estado del arte en donde se recopilaron antecedentes en la siguiente documentación técnica:

- a) Boletín 121 de la ICOLD
- b) Boletín 139 de la ICOLD
- c) Eventos recientes como:
 1. Falla en presa de relave en Inglaterra, durante el 2014.
 2. Desastre a consecuencia de fallas en presas de relaves mineros en Chile, durante el 2015.
 3. El último congreso de grandes presas desarrollado en noruega, durante el 2015, en donde se trató el tema sobre las presas de relave minero.

Se logra visualizar las fallas más recurrentes que se poseen en estas estructuras en base al catastro efectuado por la ICOLD en base a los boletines 121 y 139.

A los 221 casos tratados en el Boletín 121 se les da un análisis breve detallando y se discuten en términos generales cada uno de ellos. Se logra determinar que las principales causas de estos casos de fallas y los incidentes debidos a ellas fueron los siguientes:

- Falta de un control del balance de agua.
- Falta de control en la construcción.
- Falta general de comprender las características que controlan la seguridad en las operaciones efectuadas en estas presas.
- Falta de previsión frente a acontecimientos imprevisibles como los causados por inesperada condiciones climáticas, incluyendo los movimientos sísmicos.

Se resalta que las operaciones en las presas de relaves pueden ser consideradas en cuatro fases, estas son:

- Diseño
- Construcción
- Operación
- Cierre o finalización

En resumen, el Boletín 139 se debiera considerar como el texto base para implementar un Sistema de Gestión Integral (Calidad, Seguridad y Medio Ambiente), que debe poseer toda presa de relave minero.

Al encontrar casos actuales como el ocurrido en la presa de relave Mount Polley (Inglaterra) durante el año 2014 y la situación de catástrofe en la tercera región de Chile durante las precipitaciones ocurridas en Marzo del año 2015, evidencian que a pesar que existen las nociones técnicas para avanzar en la disminución de las fallas en este tipo de estructura, actualmente no se logran reducir estos casos en todo el mundo, ya que se repiten deficiencias como se señalan a continuación:

- Estudio de Mecánica de Suelos incompleto, lo que origina una entrega de antecedentes deficientes del sector de emplazamiento y del entorno del proyecto de presa.

- No se respeta el diseño original y se toman medidas sin ningún fundamento técnico para su desarrollo.
- A pesar de contar con un control continuo del comportamiento de estas presas no existe el personal idóneo para su adecuada interpretación.
- No existen los estudios básicos, como es el de encontrar el mejor sitio de emplazamiento, que respaldan la ejecución de estos proyectos.
- A pesar de contar con la identificación de las presas, no se efectúan procedimientos correspondientes para evitar las consecuencias, que pueden resultar trágicas, ya sea para el ser humano como el medio ambiente.

Se entrega la siguiente estadística, como un ejemplo de evidencia de lo detallado anteriormente, en Chile se poseen los siguientes datos actualizados:

Tabla 3. Análisis ultimo catastro efectuado en Chile sobre presas de relaves mineros (Sernageomin)

Detalle	Cantidad	%
S/I	39	6
NO ACTIVO	356	55
ACTIVO	161	25
ABANDONADO	95	15
TOTAL	651	

Se debe evitar que a pesar que se tenga el conocimiento que existe más de la mitad de los relaves existentes en un país, no existan medidas concretas para evitar desgracias humanas y medio ambientales.

El tema de la situación de las presas de relave en el mundo se encuentra en plena vigencia. Lo anterior lo demuestra lo tratado en el último congreso de grandes presas efectuado en Noruega en el presente año. En él se destacan puntos que ya, a esta altura parecen reiterativos, pero que se siguen recomendando debido a que siguen en aumento los fallos que se producen en este tipo de estructura. Debido a la complejidad de la estructura, a la incertidumbre de los materiales utilizados, la variación continua del estado de los materiales en su operación y las consecuencias claras sobre la vida y el entorno de las personas, las presas de relaves son un tipo de proyecto geotécnico con riesgos altísimos. Por lo tanto la evaluación de la seguridad con la herramienta de análisis de riesgos proporcionará a los responsables de estas presas la posibilidad de anticipar y abordar los principales problemas de seguridad. Un funcionamiento seguro en las presas de relaves podría lograrse mediante la comprensión adecuada de los riesgos potenciales, como son:

- Las medidas de intervención constructivas.
- Vigilancia adecuada.
- Regulaciones estrictas.

b) Al efectuar un seguimiento de los casos detectados de fallas en el mundo en las presas de relave minero se ha logrado visualizar las fallas más recurrentes y con ellas se determinan las variables más incidentes que afectan al origen de ellas.

En general se puede decir que una mayor humedad de los relaves implica menor estabilidad, mayor probabilidad de rotura y peores consecuencias de la rotura.

También es conveniente prestar atención a las siguientes variables:

- Ubicación eficiente de la presa de relave.
- Catastro adecuado de presas de relave que tengan una utilidad concreta para evitar los riesgos que pudieran presentar estas.
- Presentación de análisis parciales durante la vida útil de la presa.
- Control parcial de la situación general en las presas de relave.
- Presencia de responsables competentes.
- Contar con la instrumentación y metodologías necesarias con la tecnología actual correspondiente.

c) Ya conociendo las variables incidentes, se logran determinar las acciones para minimizar las acciones de estas, como son las siguientes:

- Controlar la humedad en base a mediciones constantes durante la vida útil de la presa, inclusive después de su cierre. Dentro de este control no pueden faltar las mediciones sobre el nivel freático y el agua capilar presente.
- Contar con muro de contención que sirva de barrera pasiva frente a cualquier flujo que se pudiera producir debido a fallas originadas en la presa de relave.
- Conocer el comportamiento que tendrán los diversos elementos que componen a una presa durante toda su existencia. Debe ser una exigencia prioritaria contar con estudios de mecánica de suelo en forma constante, o sea, previo, durante y posterior al uso activo de la presa.
- Contar con un Sistema de Gestión de Calidad durante toda la vida útil de la presa de relave, que se puede dividir en las siguientes partes:
 - Diseño
 - Construcción
 - Operación
 - Cierre o finalización
- Contar con un estudio para lograr determinar la mejor ubicación que deberá tener la presa de relave.
- Hacer un catastro de presas de relave que se tengan en cada zona determinada y que este sirva para tomar las medidas correspondientes a cada una de ellas según su estado (Ej: Activa, Parada en forma parcial, Parada en forma completa).
- Cada diseño que se realice a la presa debe contar con fundamentos técnicos basados en estudios profundos y específicos de lo que se requiera.
- Debe existir un responsable competente de las diversas acciones que se adopten referente a la presa de relave.
- Cada control y medida adoptada cuente con la instrumentación y metodologías necesarias con la tecnología actual vigente.

d) Como un aporte en el apoyo a la ejecución de estas acciones generales planteadas, se ha diseñado una Lista de Chequeo Básico, que debiera ser una herramienta para la aprobación del funcionamiento del relave por la entidad competente de cada país (Su formato se puede apreciar en la tabla 3 del presente informe).

6. BIBLIOGRAFÍA

Alonso E.E., y Gens, A. (2006). Aznalcóllar dam failure. Part 1: Field observations and material properties. *Géotechnique*, Vol. 56, nº 3, pp. 165–183.

ANCOLD (1999). *Guidelines on Tailings Dam Design, Construction and Operation*. Australian National Committee on Large Dams.

Bishop, A.W. (1972). *Discussion. Colliery Spoil Tips - After Aberfan*. Part 2; Proc. Instn Civ. Engrs, London, pp. 687-694.

Bishop, A.W. (1973). The stability of tips and spoil heaps. *Quarterly Journal of Engineering Geology*. Vol. 6, nº 3 y 4, pp. 335-376.

Casagrande, A. (1965). Role of the Calculated Risk in Earthwork and Foundation Engineering. Terzaghi Lecture. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. Vol. 91, nº 4, pp. 1-40.

Casagrande, A. (1971). On liquefaction phenomena. Reported by Green and Ferguson. *Géotechnique*. Vol. 21, nº 3, pp. 197-202.

Casagrande, A., y MacIver, B.N. (1970). Design and construction of tailings dams. *Proceedings, Symposium on Stability in Open Pit Mining, Vancouver*.

Chalkley, M., Kerr, T., Parfitt, M., y Greenaway, G. (2002). Rehabilitation of the acid leach tailings facility at Moa Nickel in Cuba. CDA (2002). *Annual Conference, Victoria, BC, Canada*.

Fourie, A.B. (2003). A review of catastrophic flow failures of deposits of mine waste and municipal refuse. *Int. Workshop On Occurrence And Mechanisms Of Flow In Natural Slopes And Earthfills, Sorrento, Italia*.

García, C. (2004). *Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia-España)*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia).

Harder, L.F., y Stewart, J.P. (1996). Failure of Tapo Canyon Tailings Dam. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE. Vol. 10, nº 3, pp. 109-114. ICOLD (2001).

ICME/Sida/UNEP (1997). *Proceedings of International Workshop on Managing the Risks of Tailings Disposal. Stockholm 22nd-23rd May*. Toronto (Canadá): International Council on Metals and the Environment.

ICOLD (1996). Tailings Dams and the Environment – Review and recommendations. Bulletin 103. París (Francia): the International Commission on Large Dams.

ICOLD (1996). Monitoring of Tailings Dams – Review and recommendations. Bulletin 104. París (Francia): the International Commission on Large Dams.

ICOLD (1996). *A Guide to Tailings Dams and Impoundments: Design, construction, use and rehabilitation*. Bulletin 106, París (Francia): the International Commission on Large Dams.

ICOLD (2001). *Tailing dams. Risk of dangerous occurrences. Lessons learnt from practical experiences*. Bulletin 121. París (Francia): the International Commission on Large Dams.

ICOLD (2013). *Erosión interna de presas, diques y diques existentes y sus bases*. Boletín 164: París (Francia): the International Commission on Large Dams.

Lambe, T.W., y Whitman, R.V. (1979). *Soil Mechanics, SI version*. Nueva York (EE UU): Pub Wiley & Sons.

Oldecop, L., Zabala, F., Rodríguez, R.L., y Garino, L. (2008). Funcionamiento hidráulico, estabilidad y mecanismos de rotura de presas de relaves mineros. Comité Argentino de Presas. *V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Tucumán (Argentina)*.

Peck, R.B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. 9th Rankine Lecture. *Géotechnique*. Vol. 19, nº 2, pp. 171-187.

Rodríguez, R. (2002). *Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona).

Skempton, A.W., y Coats, D.J. (1985). Carsington dam failure. *Proc. Instn Civ. Engrs Symposium on Failures in Earthworks, London*, pp. 203-220.

UNEP/ICME (1999). *Proceedings of the Workshop on Risk Management and Contingency Planning in the Management of Mine Tailings, Buenos Aires, Argentina*. Paris (Francia): International Council on Metals and the Environment, Canada, and United Nations Environmental Programme.

USCOLD (1994). Tailings Dam Incidents. United States Committee on Large Dams. USCOLD, Denver/Colorado (EE UU).

Wagener, F. (1997). The Merriespruit slimes dam failure – Overview and lessons learnt. *SAICE Journal*, Vol. 39, nº 3, pp. 11-15.

Edificación y Urbanismo

Líneas de actividad

Estructuras y
cimentaciones

Zonificación del territorio

Abastecimiento,
saneamiento y desalación

Medio ambiente

.....

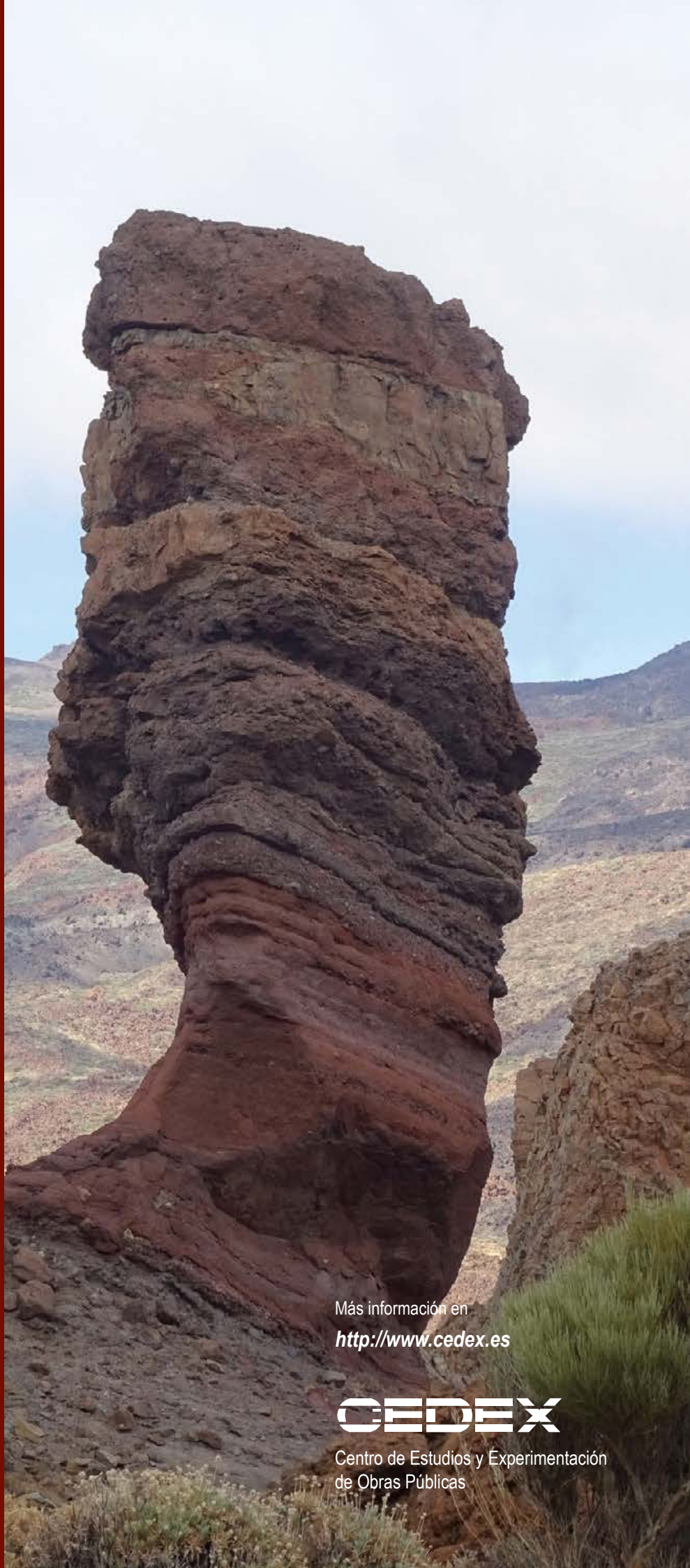
Fields of Activity

*Structures and
Foundations*

Territory Zoning

*Water Supply, Wastewater
Treatment and
Desalination*

Environment



Más información en
<http://www.cedex.es>

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación
de Obras Públicas



Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.



REPSOL

Inventemos el futuro

Carreteras

Líneas de actividad

Diseño de firmes sostenibles

Apoyo a la conservación, mantenimiento y explotación de carreteras

Caracterización de materiales para firmes de carreteras

Materiales para puentes y otras estructuras

Medio ambiente

.....

Fields of Activity

Design of Sustainable Road Pavements

Technical Assistance in the Fields of Road Conservation, Maintenance and Operation

Characterization of Materials for Road Pavements

Materials for Bridges and other Structures

Environment

