



SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

Subdirección Nacional de Minería

Departamento de Evaluación de Proyectos Mineros



Gobierno
de Chile

Mariano Gajardo Morales

Ingeniero de Proyectos

Mayo 2019



Relaves en Chile: situación actual y futura



REGULACIÓN DEPÓSITOS DE RELAVES

http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/reglamentos_seguridad_minera/DS248_Reglamento_DepositosRelave.pdf

D.S. 132/2002

Reglamento de Seguridad Minera

D.S. 248/2006

Reglamento para la Aprobación de Proyectos de Diseño,
Construcción, Operación y Cierre de los Depósitos de
Relaves

Trabajos realizados por SERNAGEOMIN en relación a los Depósitos de Relaves. Ubicarlos en la web

1. Cuántos depósitos existen en Chile:

<http://www.sernageomin.cl/mineria-relaves.php>

2. Distribución de relaves por regiones y comunas:

<http://www.sernageomin.cl/mineria-relaves.php>,

3. Atlas de Depósitos de relaves:

<http://relaves.sernageomin.cl/#/home>)

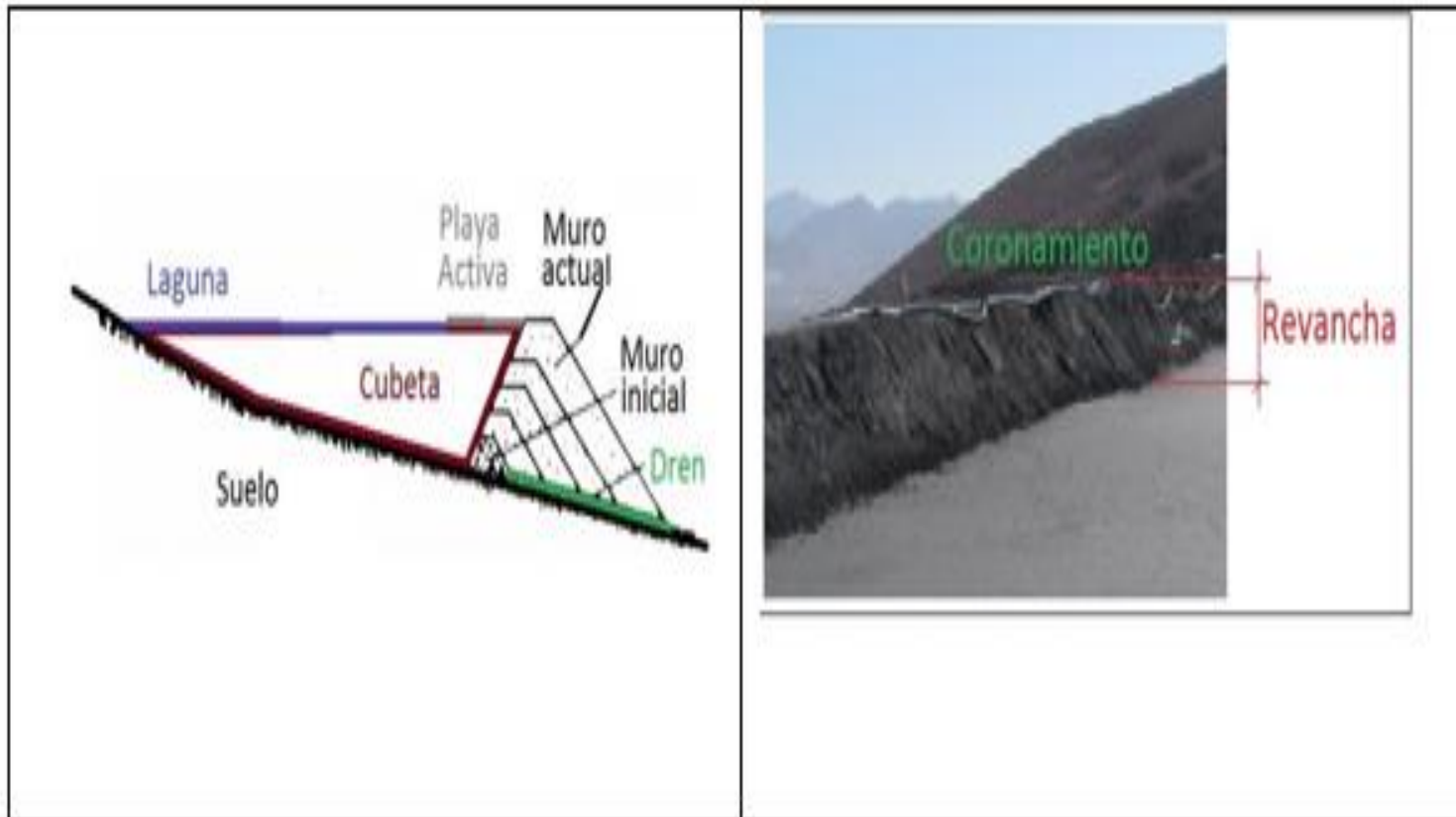
4. La composición geoquímica de relaves

<http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/relaves/Datos-GeoquimicaDepositosdeRelavesdeChile.xls>

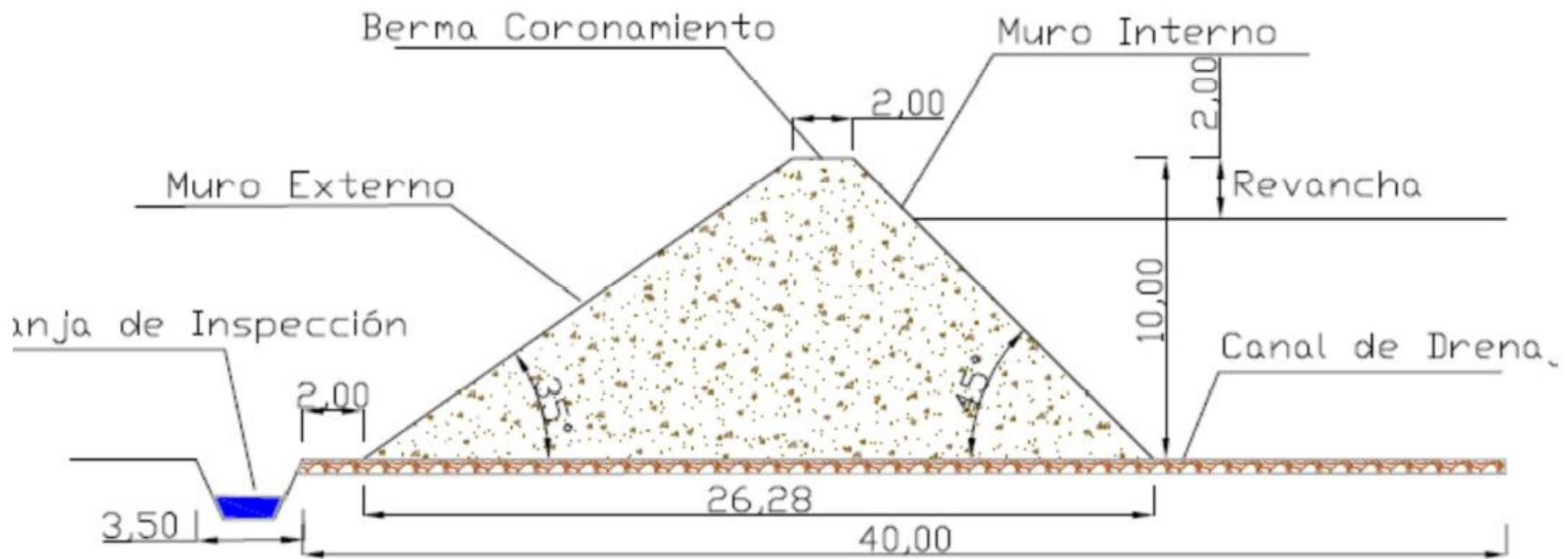
5. La descripción de los datos geoquímicos:

<http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/relaves/Geoquimica-de-Depositos-de-Relaves-de-Chile.pdf>

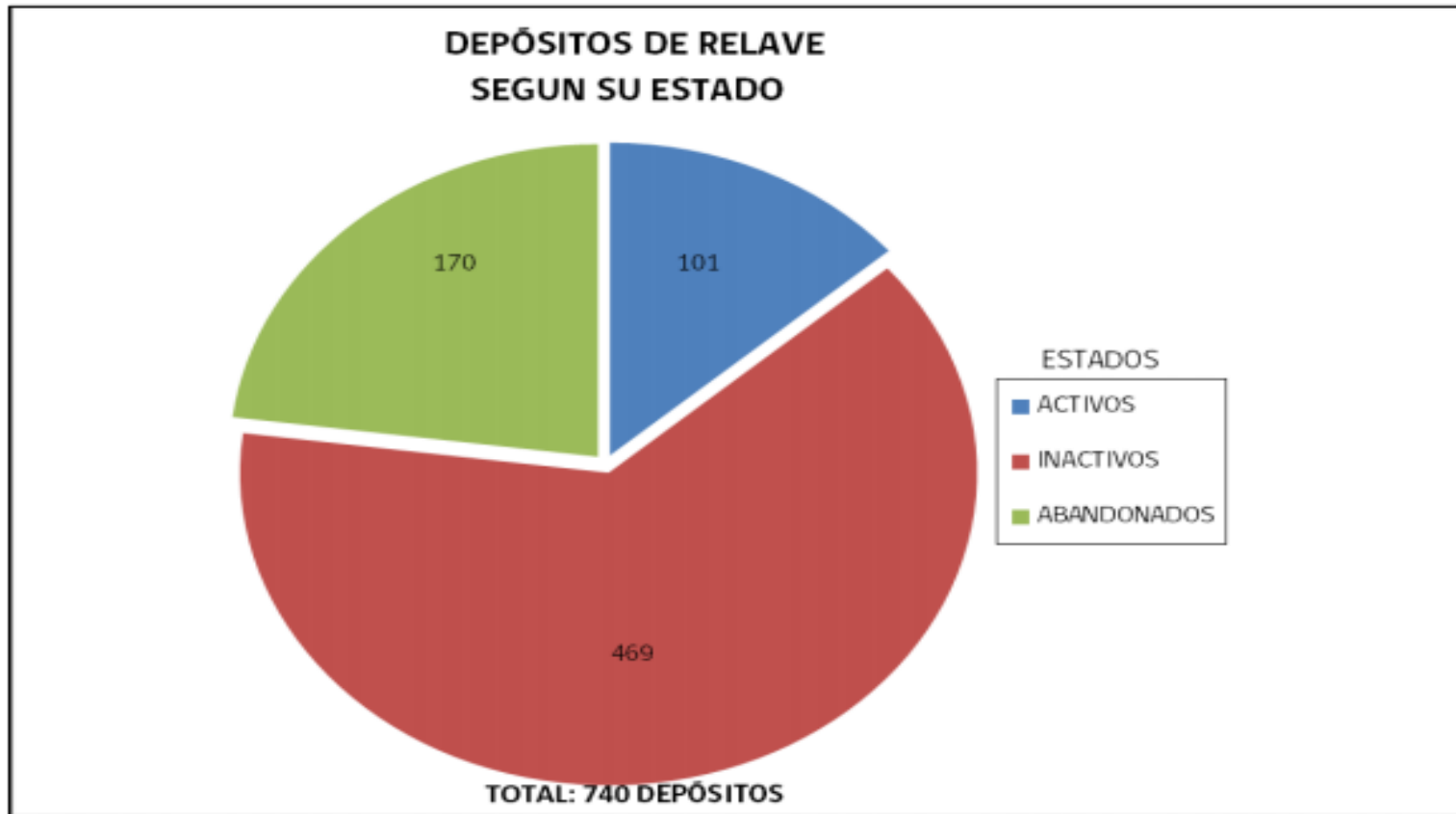
Depósito de relaves: Es una obra de Ingeniería que se construye para contener en forma segura los relaves provenientes de una planta de tratamiento o beneficio de minerales por flotación.



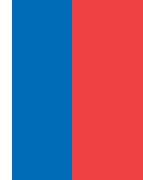
TÍPICO MURO DE UN DEPÓSITO DE RELAVES



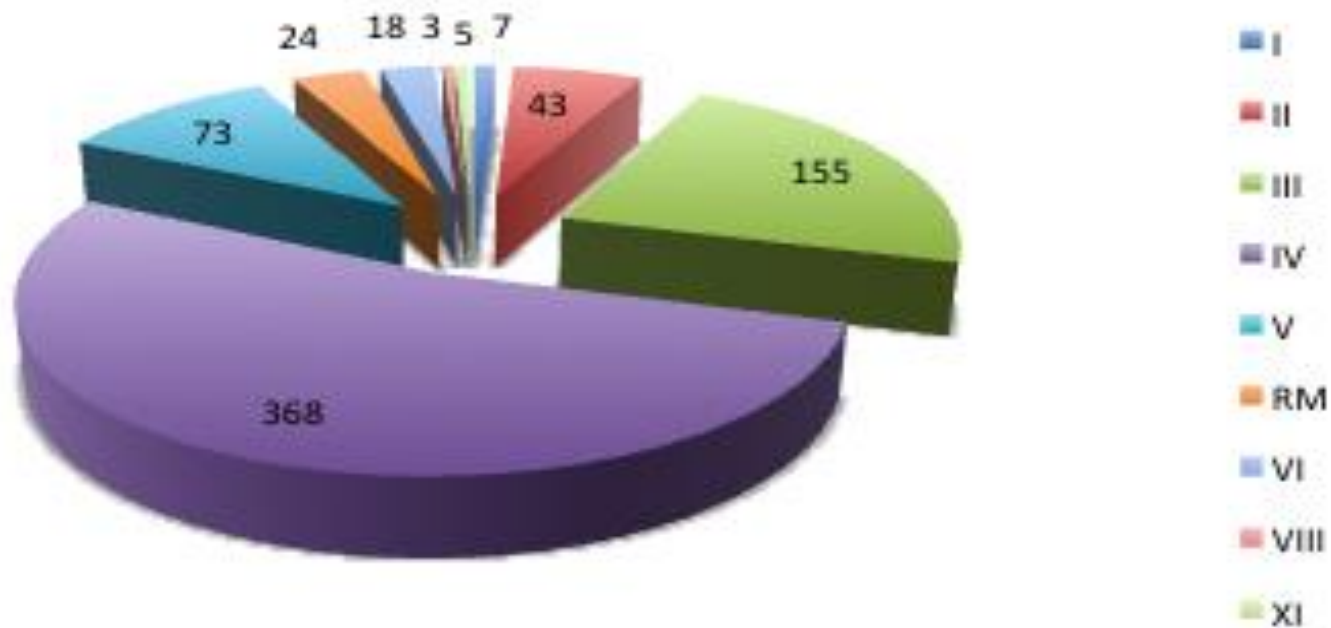
El estado de los depósitos de relaves



DEPÓSITOS DE RELAVE POR REGIÓN



Depósitos de Relaves por Región



Distribución y estado de relaves

Catastro de Depósitos de Relaves:

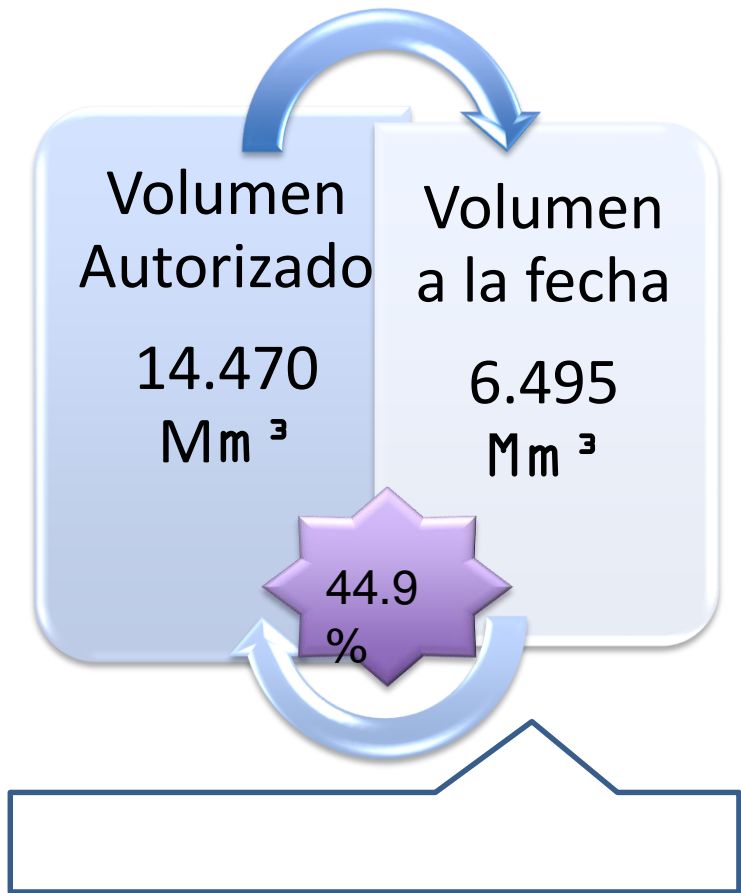
(<http://www.sernageomin.cl/mineria-relaves.php>)

Región	Total 740	Activos 101 (17%)	No Activos 469 (59%)	Abandonados 170 (19%)	% Región
I	7	1	-	6	1
II	47	13	20	14	6,3
III	161	30	108	23	21
IV	386	30	250	106	52
V	81	13	57	11	11
RM	26	6	14	6	4
VI	18	3	15	-	2,6
VII	4	2	2	-	0,5
XI	9	2	3	4	1,5
XV	1	1	-	-	0,1

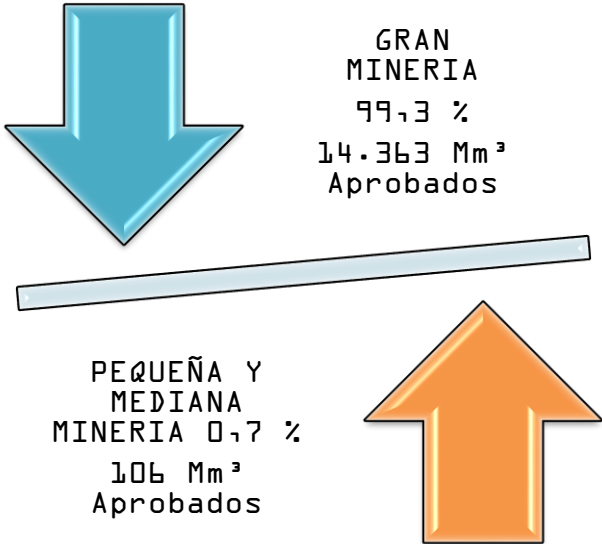
Fuente: Sernageomin. Información actualizada al 27 marzo de 2018



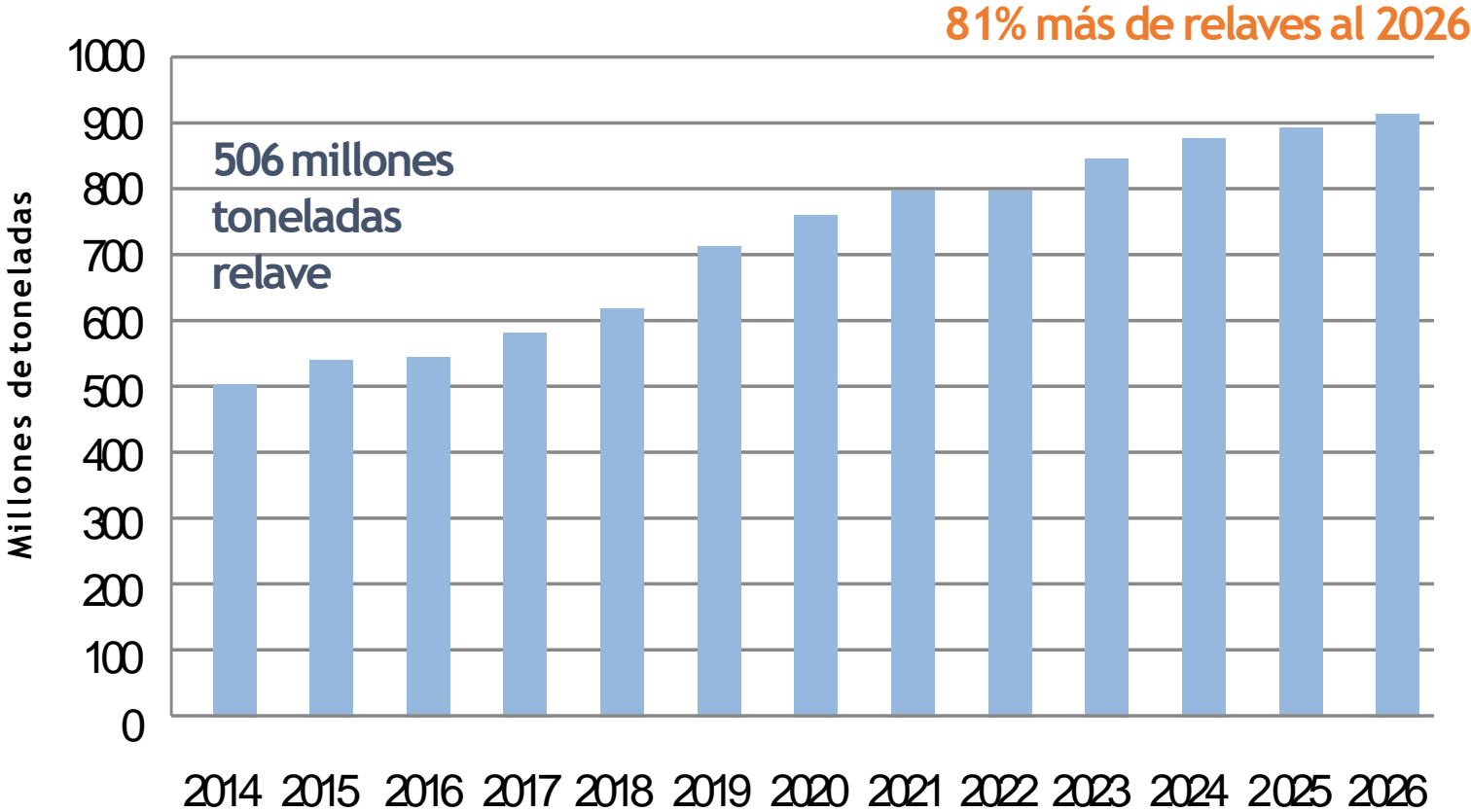
La producción actual de relaves es de:



La Gran Minería concentra el 99,3% de la producción de relave a nivel nacional



Proyección de volúmenes de relaves producto del proceso de concentración de cobre, 2014 - 2026



Fuente: Cochilco.





LOS DEPÓSITOS DE RELAVES



TIPOS DE DEPÓSITOS DE RELAVES

- 1.- **Tranque de relaves:** El muro construido con Arenas
- 2.- **Embalse de Relaves:** El Muro construido con Empréstito
- 3.- **Depósito Espesado**
- 4.- **Depósito filtrado**
- 5.- **Depósito en Pasta**

AÑO 2018		
TIPO	CANTIDAD	%
TRANQUE	600	81,08
EM BALSE	118	15,95
EN PASTA	4	0,54
ESPESADO	7	0,95
FILTRADO	9	1,22
PRETIL	1	0,14
DREM	1	0,14
TOTAL	740	100,00

101 DEPÓSITOS ACTIVOS AÑO 2018		
TIPO	CANTIDAD	%
TRANQUE	44	43,6
EM BALSE	41	40,6
EN PASTA	4	4,0
ESPESADO	6	5,9
FILTRADO	6	5,9

TRANQUES DE RELAVES

Depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos)

TIPOS DE TRANQUES DE RELAVES

- 1.- MÉTODO CONSTRUCCIÓN: MURO AGUAS ABAJO
- 2.- MÉTODO CONSTRUCCIÓN MURO EJE CENTRAL
- 3.- MÉTODO CONSTRUCCIÓN MURO AGUAS ARRIBA

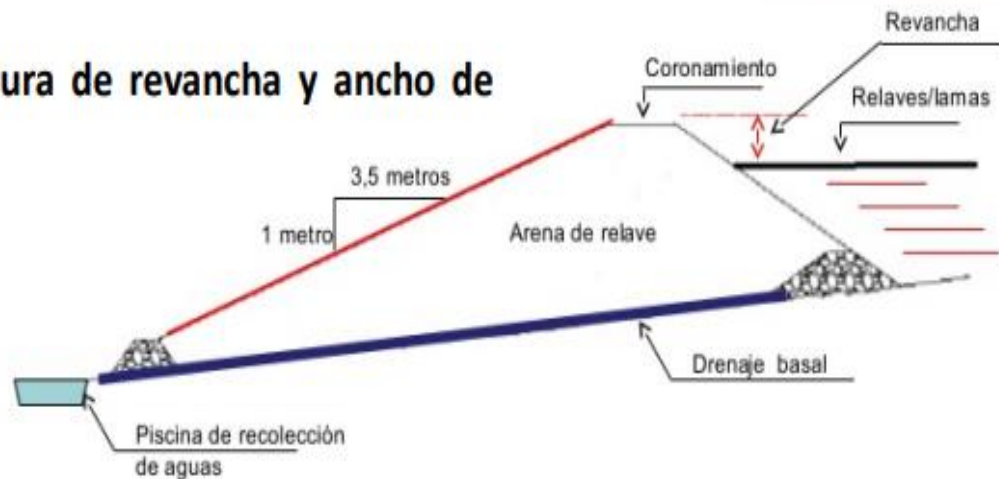
Controles Geotécnicos Operacionales de un Tranque de Relaves

Tomado de Ingeniero Juan Palma UCV

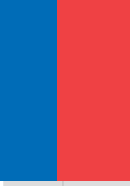
CONTROLES GEOTÉCNICOS OPERACIONALES EN TRANQUES DE RELAVE

Pendientes del talud, Altura de revancha y ancho de coronamiento suficientes

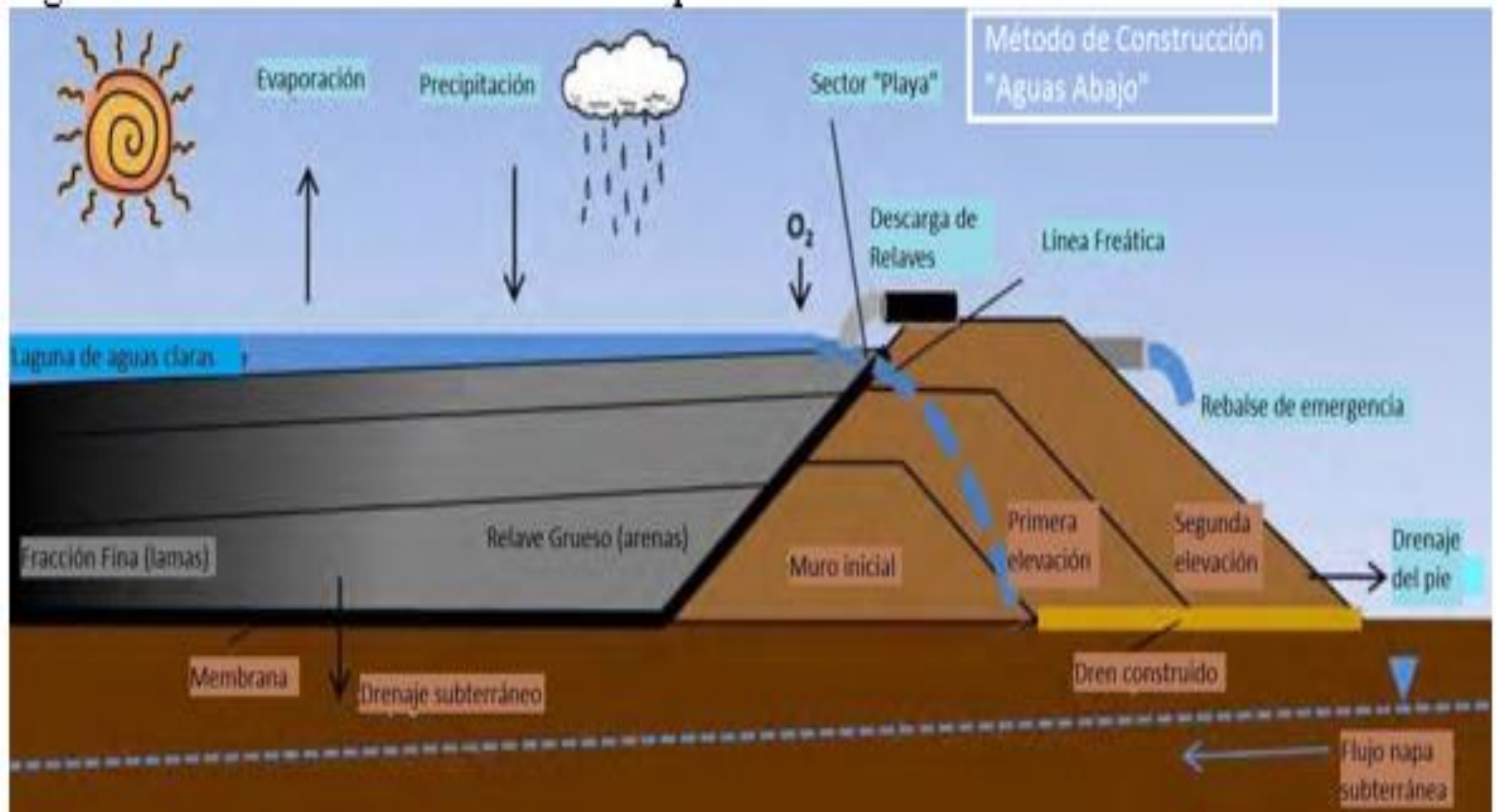
Controles topográficos



Tranque de relaves: Operación de los hidrociclones



1. CONSTRUCCIÓN MURO AGUAS ABAJO



TRANQUES DE RELAVE

Las figuras con Muro aguas abajo



- Los componentes principales de un Tranque



Muro de arenas



Laguna de aguas claras - lamas

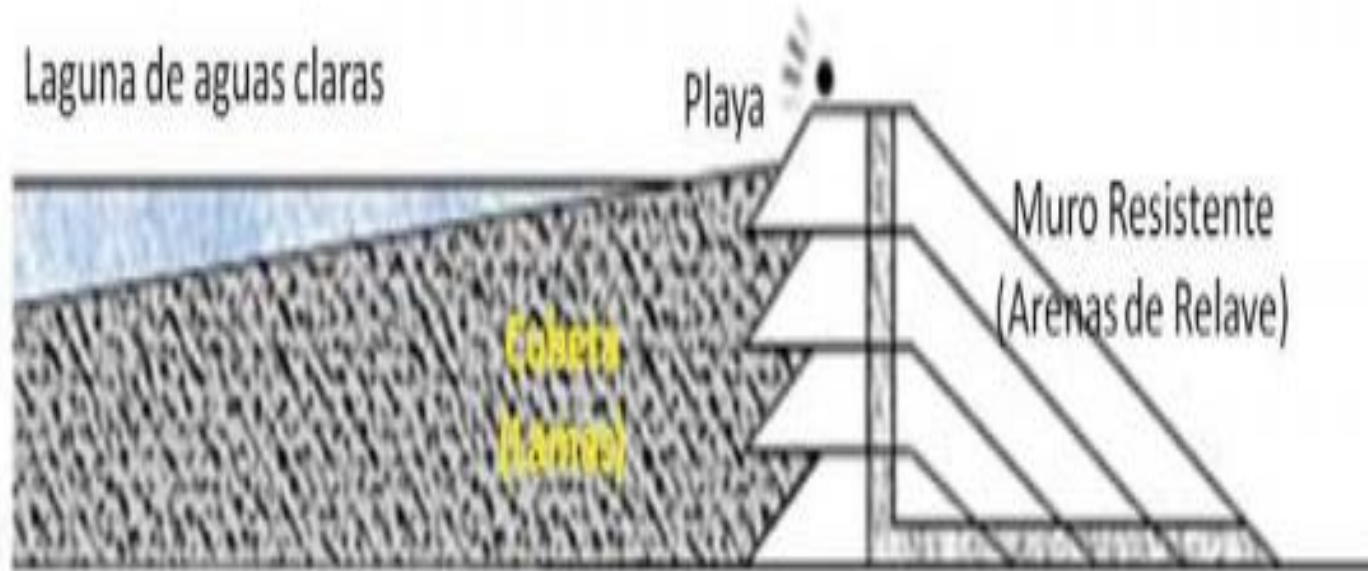


PERSONAL DE SERNAGEOMIN INPECCIONANDO EL MURO TRANQUE DE ATACAMA KOZAN



27 07 2017

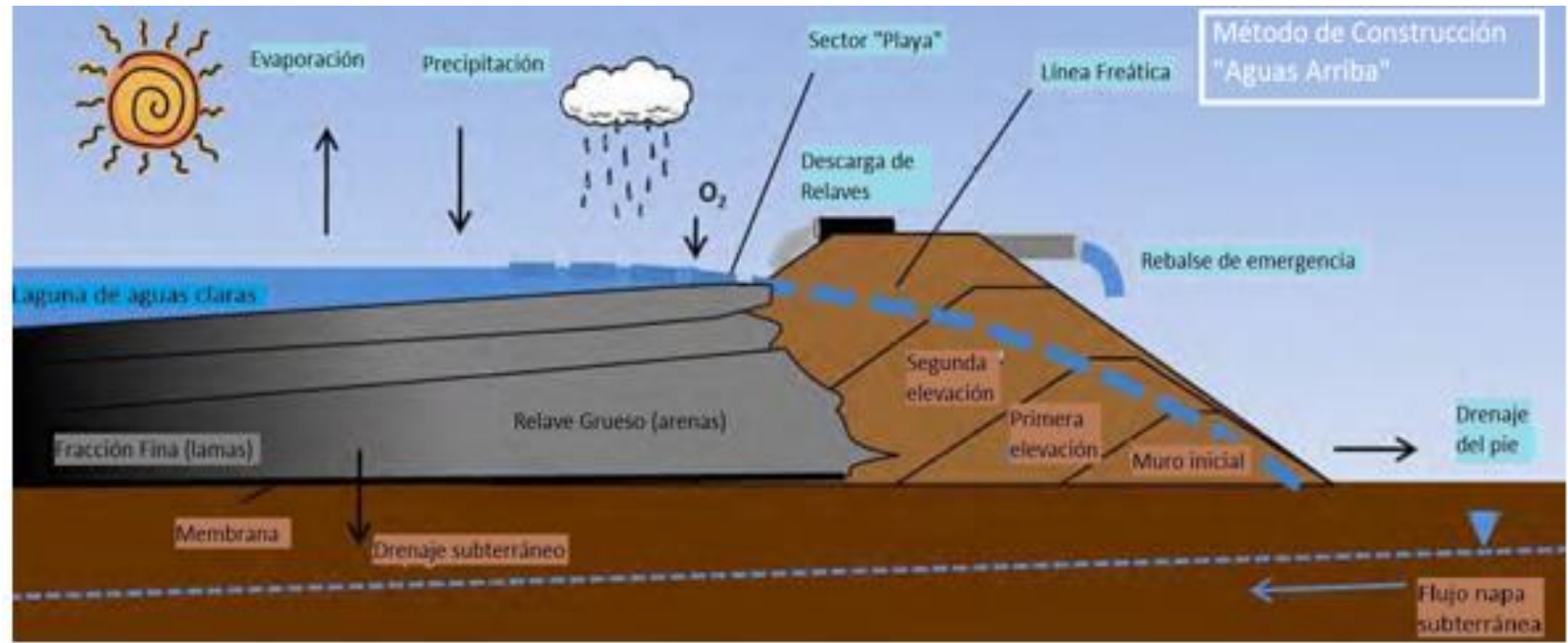
2. Tranque de Relaves: MURO CONSTRUIDO EJE CENTRAL



CONSTRUCCIÓN MURO AGUAS ARRIBA

Es el muro menos resistente frente a oscilaciones sísmicas.

Hoy en CHILE: NO PERMITIDO



2. Embalse de relaves

Componentes principales del Depósito:

Muro de contención: Construido con material de empréstito

Impermeabilización: en el coronamiento y en su talud interno;

Depositación de los relaves: completos en la cubeta sin necesidad de clasificación.

EMBALSES DE RELAVES



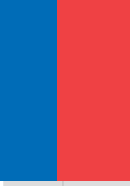
Los Leones, CODELCO Andina



Carén, CODELCO
Teniente



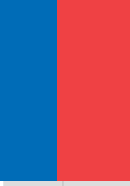
Las aguas claras y muro del embalse Caren



DEPOSITOS ESPESADOS

- Son relaves a los cuales se les remueven gran parte del agua, mediante el uso de espesadores para obtener una concentración de sólidos con valores entre 65 o 75 %.
- Con esa concentración de sólidos, el relave no se segrega, el depósito se hace homogéneo.
- Se pueden disponer en pendiente y permiten minimizar o eliminar el requerimiento de muros de confinamiento

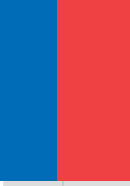
Espesador de relaves



Talud externo del Depósito espesado Las Luces, Taltal



La cubeta y parte del muro Depósito Espesado Las Luces



Depósito de Relaves Filtrados



Depósitos de Relaves Filtrados:

En estos depósitos:

Antes de ser depositados, son **filtrados**:

Se debe Asegurar que:

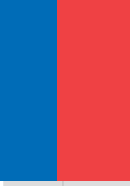
Humedad del relave menor a un 20%.

Cómo es el Transporte:

Mediante cintas transportadores o camiones

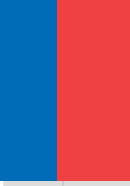


Depósito filtrado HMC Gold Punitaqui IV Región



Depósito filtrado HMC Gold Punitaqui IV Región

En la foto: lo están Esparciendo y Compactando



Depósito de Relaves en Pasta



Depósito de Relaves en Pasta:

- Este depósito:
 - Es una mezcla de agua con sólido:
 - Abundantes sólido
 - bajo contenido de agua,
 - Por lo tanto: la mezcla tiene una consistencia espesa.



Depósito en Pasta Delta, Enami IV Región



Depósito en Pasta Delta, Enami IV Región



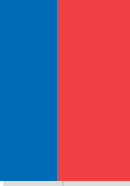


Estudios de depósitos de relaves



PRINCIPALES INVESTIGACIONES 2015- 2018

depósitos de relaves



- 1. Identificar elementos de valor en depósitos de relave (BGR ALEMANIA, CAMCHAL, CORFO (2015))**
- 2. Prospeccionar depósitos de relaves (Convenio entre Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de la República Federal de Alemania (BGR) y el SERNAGEOMIN)**
- 3. Proyectos CORFO: 2**
- 4. Proyecto Fundación Chile - Corfo**





Cámara Chileno-Alemana
de Comercio e Industria - CAMCHAL
Deutsch-Chilenische
Industrie- und Handelskammer



Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

1. Identificar Elementos de Valor en Residuos Mineros (Relaves) y Evaluar su Recuperación como Productos Comerciales

Dr. Roberto Mallea

Director Proyecto BGR - Camchal



OBJETIVO PROYECTO BGR - CAMCHAL



Identificar y documentar la presencia de elementos de valor en relaves mineros

- CÓMO:
 - mediante caracterización química, física y mineralógica,

Proponer esquemas tecnológicos que permitan recuperar éstos elementos..



Conclusiones proyecto BGR - CAMCHAL

BGR Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de la República Federal de Alemania
CAMCHAL: CAMARA DE COMERCIO ALEMANIA- CHILE

Se logra evidenciar , cuantificar y caracterizar, elementos de valor.

Se logra, mediante separación magnética:

- dos fracciones con diferentes contenidos de elementos de valor.

Pruebas de lixiviación Se demuestra, la factibilidad de disolver, con altas tasa de recuperación metalúrgica, varios elementos de valor.

2. Convenio entre Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de la República Federal de Alemania (BGR) y el SERNAGEOMIN

OBJETIVO:

- Estudiar depósitos de relaves: Caracterización química de depósitos de relaves
 - Investigar la presencia de elementos de valor
 - Desarrollo de ensayos tecnológicos para la recuperación de minerales

Trabajos realizados convenio BGR – SERNAGEOMIN (2016 – 2018)



- Campaña de exploración de varios depósitos de relaves de las regiones de Coquimbo y Antofagasta.
- Total 15 depósitos

En la II Región: TALTAL y PAPOSO

Las Luces 2; Enami 1; Nova Ventura 1; Sotramin 2

En la IV Región:

Enami: 3: OVALLE

PUNITAQUI: Altos de Punitaqui 2; HMC Gold: 1



Fotos Tranque 2 Las Luces Taltal II Programando Sondajes



Depósito Relave Nova Ventura Paposo, Taltal Región de Antofagasta

Perforando



Sondajes y estudio de testigos

- 1.-Las muestras fueron caracterizadas directamente en terreno



EJEMPLO: RESULTADOS ANALISIS QUÍMICO EN ALEMANIA

TRANQUE ENAMI TALTAL.



	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃ T	Sum
SONDAJE 101	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	%
TT 101 0-1	34,94	0,7	8,4	0,126	3,82	4,7	2,6	1,28	0,56	30,44	87,566
TT 101 1-2	29,94	0,69	6,64	0,104	2,86	4,62	1,74	0,66	0,62	41,7	89,574
TT 101 2-3	27,42	0,554	5,58	0,084	2,6	4,24	1,44	0,74	0,702	48,68	92,04
TT 101 3-3.1	31,16	0,674	6,84	0,114	3,02	4,82	1,74	0,8	0,676	41,04	90,884
										40%	

	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni
SONDAJE 101	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
TT 101 0-1	380	54	110	42	4864	44	<lld	20	12	8	30	168
TT 101 1-2	388	50	104	48	5220	46	<lld	22	10	8	30	180
TT 101 2-3	150	46	104	34	4000	46	<lld	20	10,2	7,2	28	210
TT 101 3-3.1	232	52	102	40	5400	44	<lld	22	12	9,2	30	192
		CERIO			0,49%			LANTANO			NEODIMIO	

	Sm	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr	Yb	Pb	Rb	Sc
SONDAJE 101	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
TT 101 0-1	8	106	20	4	374	22	98	138	2,6	84	54	8
TT 101 1-2	8	80	20	4,6	434	18	24	120	1,6	58	28	4
TT 101 2-3	6,6	62	16,6	3,4	468	16,4	24	104	1,2	32	28	14
TT 101 3-3.1	7,2	76	18,2	4	414	18,4	20	112	2,6	42	36	16
						ITRIO			ITERIO			ESCANDIO



DESTINO DE LAS MUESTRAS DEL PROYECTO BGR - SERNAGEOMIN



En Alemania:

- Las muestras se analizan en los laboratorios de BGR
- Se investiga la posibilidad de extraer del relaves elementos valiosos

CÓMO:

- **Testeo metalúrgico de las muestras:**





– separación magnética – flotación

- Con este esquema:
 - se recupera, en los relaves de Enami Taltal, un 60 % de Fe con un ley de cobre (0,14 %)
 - la recuperación de cobre sería a partir de sólo del 60 % del total procesado por cuanto ya fue recuperado el Fe.

-- flotación - separación magnética

- se recupera en los relaves de Enami Taltal solo un 28,5 % de Fe
- la recuperación de cobre es alta aprox. 65 % a 73 %



Trabajos actuales en Alemania (proyecto BGR – Sernageomin): profundizar las Investigaciones metalúrgicas

OBJETIVOS:

- **Probar el esquema de lixiviación - separación magnética.**
- **CONTINUAR REALIZANDO INVESTIGACIONES METALÚRGICAS**
PARA:
VERIFICAR LOS PROCESOS INVESTIGADOS
CALCULAR COSTOS DE ALGUNO DE LOS ESQUEMAS ANALIZADOS

EN CHILE: CONTINUARA EL PROYECTO BGR - SERNAGEOMIN



- ESTAMOS CONVERSANDO CON CODELCO PARA
 - EXPLORAR LOS GRANDES DEPÓSITOS DE EL TENIENTE (Barahona) y LA ANDINA (Los Leones)
 - LA CONDICION
 - QUE CODELCO CONTRATE LA PERFORADORA
 - SON DEPOSITOS DE UN ESPESOR DE APROXIMADAMENTE 50 – 70 METROS



QUÉ SE HACE ACTUALMENTE EN CHILE (todo en relación a los depósitos de relaves)



PROYECTOS CORFO:

- 1.- INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA LA RECUPERACIÓN DE ELEMENTOS DE VALOR DESDE RELAVES (JRI y ECOMETALES)**
- 2.- IDENTIFICACION, CUANTIFICACION Y EXTRACCION (BIO) TECNOLOGICA DE MINERALES/ELEMENTOS DE VALOR CONTENIDOS EN DEPÓSITOS DE RELAVE**
- 3.- MONITOREO DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVE (FUNDACIÓN CHILE)**





1.- “Investigación y desarrollo para la Recuperación de Elementos de Valor desde Relaves” (JRI- ECOMETALES)


Presupuesto: \$1.400.000.000
(Corfo:\$ 1.000.000.000)

Objetivos:

IDENTIFICAR y cuantificar la existencia de minerales de alto valor contenidos en los relaves.

DESARROLLAR tecnologías de procesamiento

Por lo tanto: transformar los depósitos de relaves de un pasivo a un activo”



RESULTADOS ESPERADOS JRI- ECOMETAL



- Estudiar técnicas de muestreo y caracterización de depósitos de relaves
- Definir de relaves objetos de estudios
- Proponer una Metodología de perforación de sondaje para depósitos de relave.
- Evaluación de metodología para la caracterización de los elementos de valor (trabajo coordinado con CODELCOTECH).



2.- Identificación, Cuantificación y Extracción (bio) tecnología de minerales/elementos de valor contenidos en los depósitos de relaves (Codelco Tech)

Presupuesto: \$1800.000.000

(Corfo:\$ 1000.000.000)

OBJETIVOS GENERAL

- RECUPERAR **ELEMENTOS DE VALOR** DESDE LOS RELAVES.

CÓMO: DESARROLLO Y/O ADAPTACION DE TECNOLOGIAS (TECNICA Y ECONOMICAMENTE VIABLES).

3.- FUNDACIÓN CHILE – CORFO PROGRAMA TRANQUE

- Diseño de un sistema de monitoreo integral de los depósitos
- *PARA QUE? :*
 - *determinar el comportamiento de los depósitos de relaves*
 - *CÓMO: Desarrollando herramientas tecnológicas para monitorear variables críticas de estabilidad física y química.*
 - **Crear: El Observatorio Nacional de Depósitos de Relaves del SERNAGEOMIN**

DEPÓSITOS DE RELAVES: Qué viene en el futuro próximo en CHILE:

ESTUDIAR LOS RIESGOS DE LOS DEPÓSITOS

Los mayores riesgos de los depósitos de relaves en funcionamiento son:

- la ruptura de su muro de contención y
- la inundación de los terrenos que quedan abajo de éste.
 - Que fenómenos que puede provocar estos riesgos: **sismos, eventos climatológicos extremos**
 - Otros: **rebose e inestabilidad del muro, filtraciones**



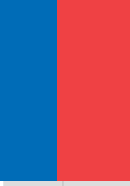
Las autoridades CHILENAS **NO DESEAN QUE PASE COMO LOS COLAPSOS
DESASTROSOS DE
BRASIL Y CANADÁ**



COLAPSO BRUMADINHO SURESTE BRASIL: 250
MUERTOS; 200 DESAPARECIDOS
DEPÓSITO TRANQUE AGUAS ARRIBA



Depósito de relaves Mount Polley (Columbia Británica, Canada) colapsó (5 millones de metros cúbicos de relaves se derramaron)



Zona colapsada Mount Polley



CONSECUENCIAS DE LOS EVENTOS DE BRASIL Y CANADÁ:

Se está gestando una política Nacional de Relaves

- Política Nacional Ministerio de Minería:
 - La idea Central: agrupar **todas las acciones en materia de relaves que están en ejecución para:**
 - **En el mediano y largo plazo tratar de aplicarlas a todos los depósitos, sin importar su estado.**
- Que se hace ahora: **el Ministerio sacará al mercado los depósitos abandonados. Esto implica simplificar los permisos para el traspaso o el traslado de los relaves**
- **Primer paso: Se Identificó aquellos depósitos con riesgos significativos: 37**

Otras medidas del Ministerio:

1. Cambios Normativos: para elevar las atribuciones de la autoridad y exigir a los propietarios que se hagan cargo de sus desechos y los contengan
2. Que sean los privados quienes financien esta limpieza, reprocesando los relaves para sacar los metales que contienen y trasladando lo que quede a depósitos que cuenten con permisos
3. Al alero del Sistema de Evaluación Ambiental: permitir a las empresas que presenten proyectos compensar parte de sus emisiones por la vía de remediar algún relave abandonado de la misma región del proyecto que tramitan
4. Hacer obligatorio el monitoreo de la estabilidad física y química de los tranques y el acceso de la población a esos datos

Lo último que esta en desarrollo en depósitos de relaves(DR):

Llevar a los depósitos de relave al nivel de RIESGO que la sociedad y la industria considere aceptable

El mayor riesgo de un DR: la posibilidad de FALLAS como las que ocurrieron en Brasil en 2015 y 2019 y Canadá 2014

- Frecuencia de fallas de tranques de relave:
- del orden de 1 en mil,
- Frecuencia de las presas para agua:
- del orden de 1 en 10 mil

¿Cómo se puede enfrentar este problema?

- **CONOCER** cuál es el nivel de riesgo que presenta cada DR

EL RIESGO EM UN DEPÓSITO DE RELAVES



Por lo tanto: Que hacer para disminuir el riesgo de un depósito de relaves:

- 1. Ingeniería adecuada**
- 2. La Construcción y Operación: seguir las mejores prácticas internacionales. Por ejemplo en la operación: una supervisión adecuada**
- 3. Monitoreo par ver que condición puede haber cambiado**
- 4. La organización humana. Quien esta a cargo del depósito, cuántas personas, qué especialidad, etc.**
- 5. El Análisis de riesgo: lo cual permite administrar el riesgo**





Muchas Gracias

