

# (Bio-) Remediación, Renaturalización y Uso Post-Cierre en la Minería

(Soluciones alemanas para una minería sustentable)

24.11.2021  
Dr. Stefan Kraus



**CDM  
Smith**

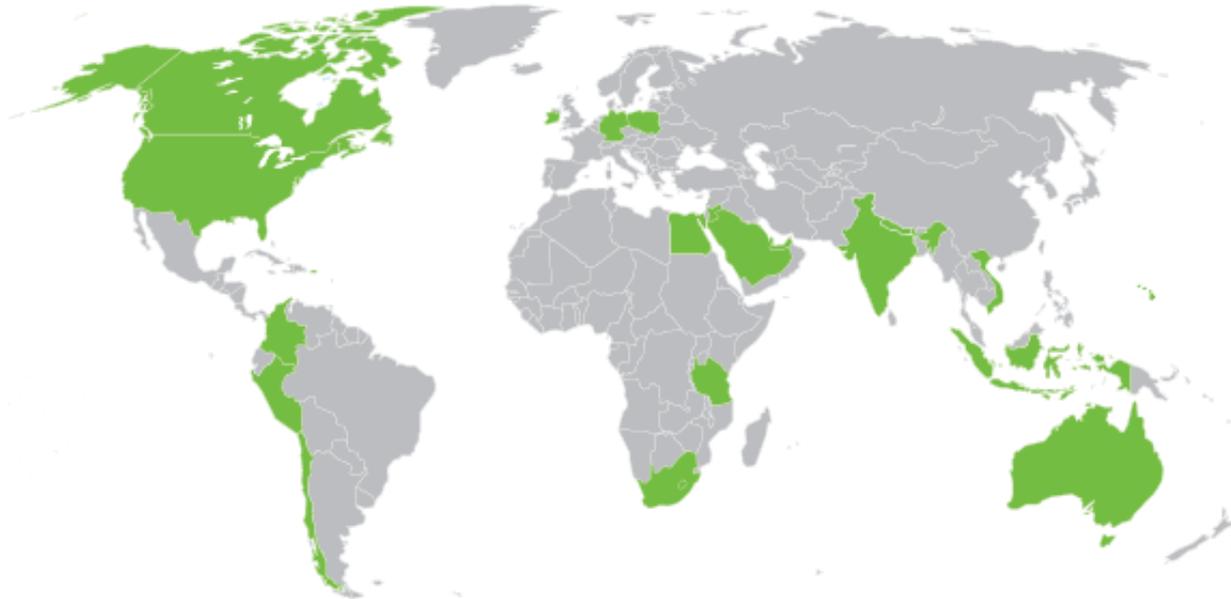


Fomentado por:



en virtud de una decisión  
del Bundestag alemán

# Presencia Global CDM Smith



**Chile:** Santiago • **Colombia:** Bogota, Cali • **Puerto Rico:** San Juan • **United States:** Boston, MA (Head Quarters) + over 50 offices • **Canada:** Burnaby • **Ireland:** Dublin • **Germany:** Alsbach, Berlin, Bingen, Bochum, Crailsheim, Düsseldorf, Hamburg, Leipzig, Mannheim, Munich, Nürnberg, Offenbach, Senftenberg, Stuttgart • **Poland:** Warsaw • **Luxembourg:** Sandweiler • **Turkey:** Ankara • **Egypt:** Cairo • **West Bank:** Al Bireh • **Jordan:** Amman • **Saudi Arabia:** Riyadh • **Qatar:** Doha • **United Arab Emirates:** Dubai • **Tanzania:** Morogoro • **South Africa:** Pretoria • **Lesotho:** Maseru • **Pakistan:** Islamabad • **India:** Chennai, Karnataka • **Guam:** Hagatna • **Nepal:** Kathmandu • **Vietnam:** Ho Chi Minh City • **Singapore:** Singapore  
**Australia:** Adelaide, Brisbane, Darwin, Melbourne, Perth



Casa matriz  
ubicada en  
**Boston,  
MA.**



Más de  
**125** oficinas  
en el mundo



Presencia en  
**25**  
países

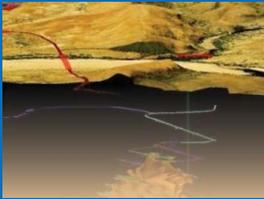


Propiedad de los  
**trabajadores**



Fundada en  
**1947**

# Servicios Globales en Minería



## Planificación y permisos

- Mapeo GIS y CAD
- Modelado Vulcano
- Modelado GoldSim
- LIDAR
- Permisos faenas nuevas
- Modelado aguas subterráneas
- Diseño faenas mineras
- Modelado geoquímico
- Estudios geotécnicos



## Diseño/construcción de infraestructura

- Diseño y construcción de
  - ✓ Relaves
  - ✓ Residuos de roca
  - ✓ Tratamiento de agua
- Transporte
- Planificación de aguas pluviales
- Desague
- Ingeniería de instalaciones
- Ingeniería civil, eléctrica y mecánica
- Precomisionado y comisionamiento



## Operación

- Cumplimiento de aguas pluviales
- Desague
- Tratamiento de agua
- Suministro de agua
- Monitoreo de aguas superficiales y subterráneas
- Expansión de relaves
- Tunelación
- Auditorías de cumplimiento ambiental
- Planificación de sustentabilidad
- Valor agregado



## Cierre

- Plan de reclamación
- Gestión de relaves y lixiviación en pilas
- Gestión de agua
- Tratamiento de aguas (pasivo y activo)
- Planificación de aguas superficiales
- Monitoreo a largo plazo
- Hundimiento
- Drenaje ácido de mina

# (Bio-) Remediación de Acuíferos

(Tratamientos *ex situ* vs. *in situ*)

# Remediación *ex situ* de Acuíferos Subterráneos

Proyecto: Remediación de aguas subterráneas en “Schwarze Pumpe”, Alemania



## Cliente

- LMBV mbH

## Duración

- 2008 – 2022

## Volumen Proyecto

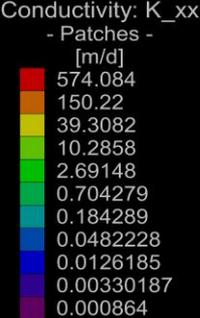
- € 3,5 MM (CDM Smith)
- € 100 MM (proyecto total)

## Proyecto

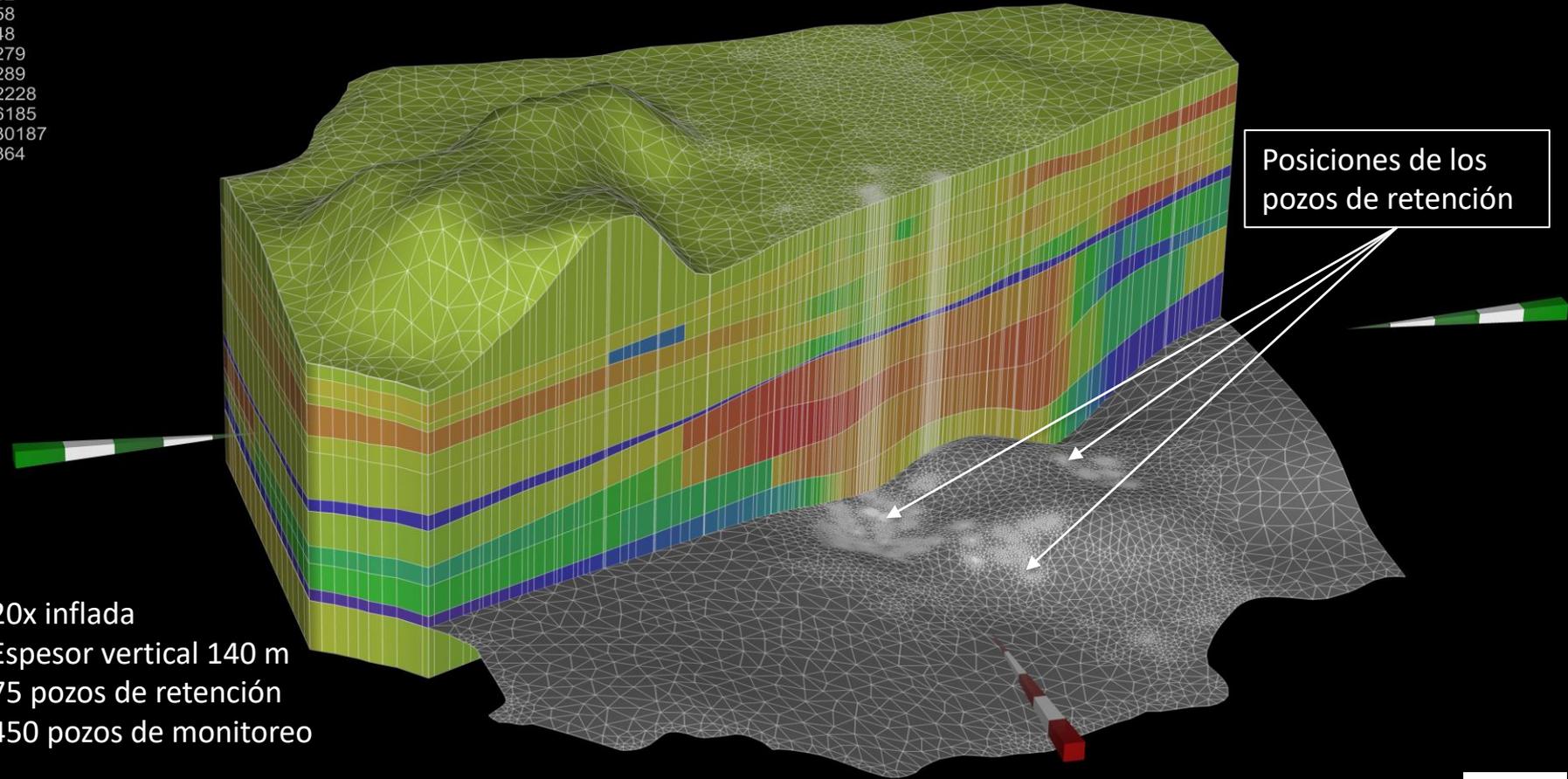
- Remediación (hasta el año 2060!) de aguas subterráneas y 300.000 m<sup>3</sup> de tierra contaminada de la planta de refinación de lignito.
- 450 pozos de monitoreo, 75 pozos de retención.
- 12 unidades hidrológicas, 10 modelos individuales, modelo 3D-FE de 173 km<sup>2</sup>, hasta 150 m debajo de la superficie (ca. 26 km<sup>3</sup>).

## Servicios

- Evaluación técnica y monitoreo de la remediación.
- Asesoramiento hidro(geo)lógico, modelación de flujo de aguas subterráneas y transporte de contaminantes.
- Soporte técnico para la construcción/operación de pozos y el mantenimiento de la red de monitoreo.
- Planificación, preparación de licitaciones, gestión de permisos.



# Remediación de Acuíferos Subterráneos en “Schwarze Pumpe”, Alemania

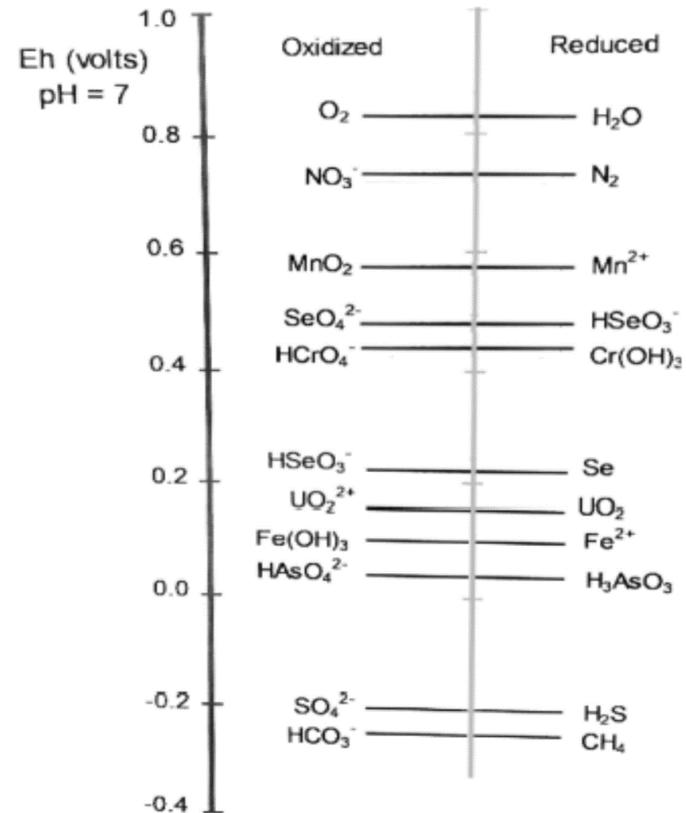


- 20x inflada
- Espesor vertical 140 m
- 75 pozos de retención
- 450 pozos de monitoreo

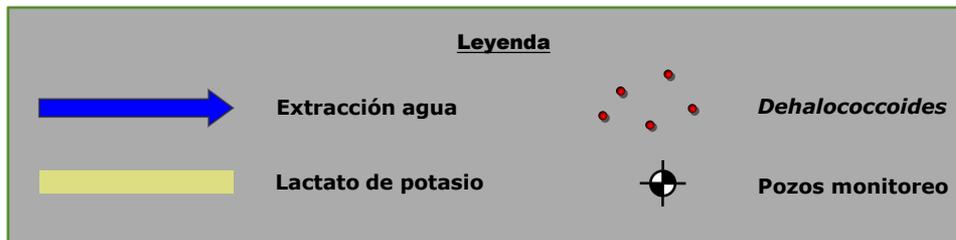
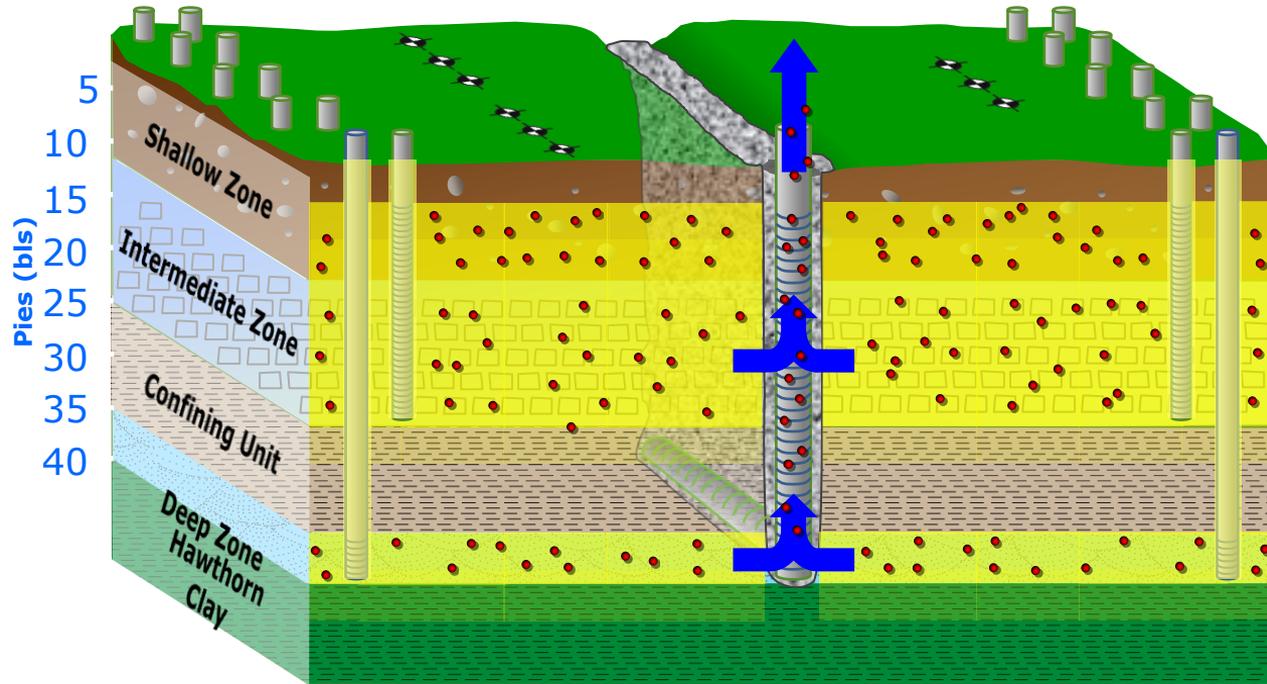


# Tratamiento *in situ*

- Manipulación Redox (ISRM)
- Reducción Química *In situ*
- Precipitación Química
- Elementos como Cu, Pb, Zn, Cd precipitan como sulfuros



# Bioremediación *in situ*



Dehalococcoides es un género de bacterias que obtienen energía a través de la oxidación del hidrógeno y la posterior deshalogenación reductora de compuestos orgánicos halogenados en un modo de respiración anaeróbica llamado respiración organohaluro.

# Drenaje Ácido de Mina

## Remediación de Galerías Subterráneas

(Geoquímica, Geotecnia, Mecánica de Rocas)

# Drenaje Ácido de Mina, Remediación de Galerías

## Proyecto: Remediación de una galería de desagüe, Mina Avoca, Irlanda

### Cliente

- Department of Communications, Energy and Natural Resources, Irlanda

### Duración: 2007 - 2020

- 2007 - 2010: Estudio de factibilidad
- 2013 - 2020: Remediación botadero y galerías

### Volumen Contrato:

- € 1,2 MM (CDM Smith)

### Servicios

- Estudio de Factibilidad
- Diseño y gestión de remediación para la mina, relaves, aguas de mina, ríos, sedimentos etc.
- Programa de laboratorio de mecánica de rocas
- Asesoramiento de riesgos y de estabilidad
- Asesoramiento hidrogeológico
- Cálculos numéricos de estabilidad



# Drenaje Ácido de Mina, Remediación de Galerías

Proyecto: Remediación de una galería de desagüe, Mina Avoca, Irlanda

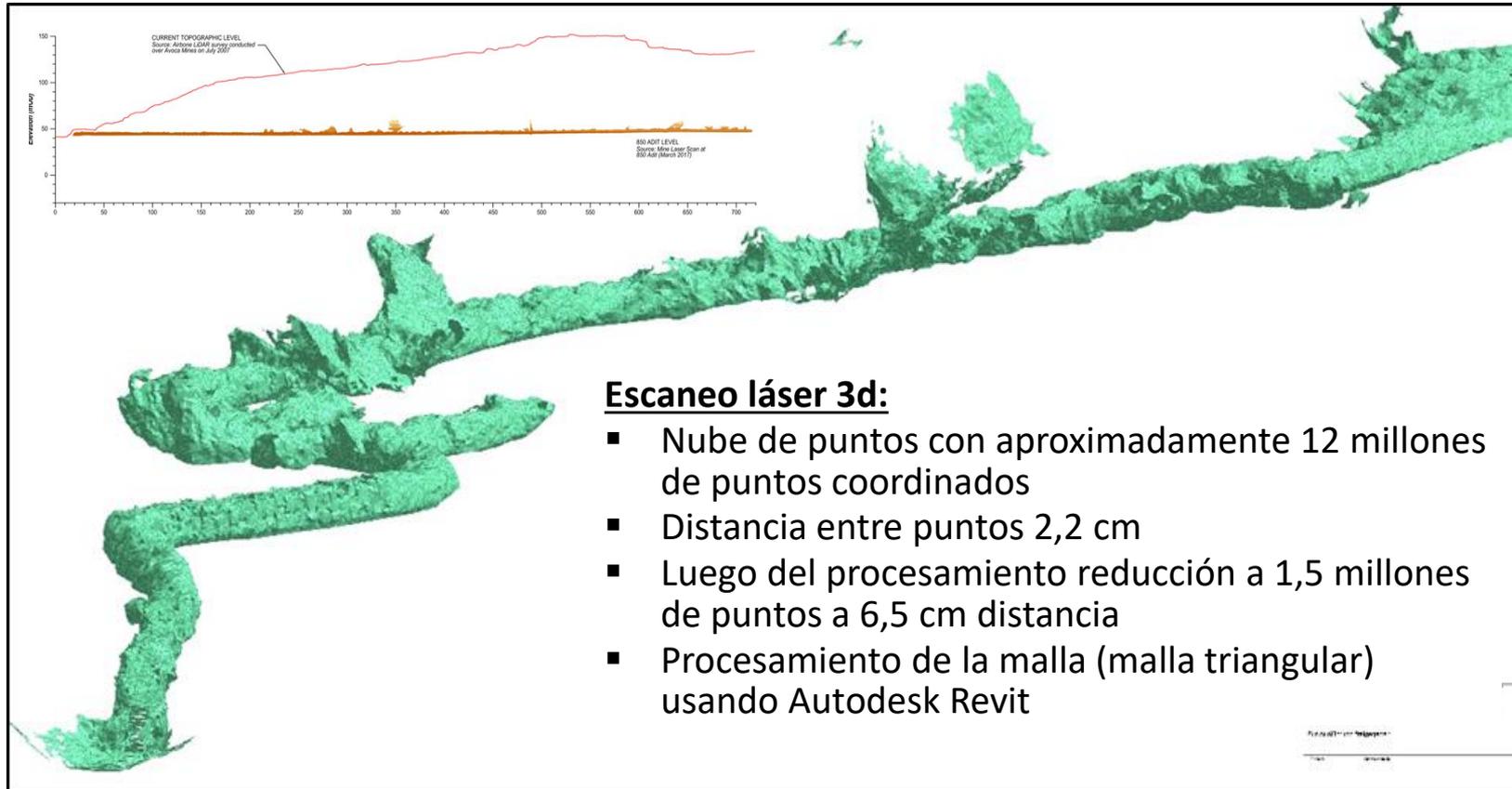
## Historia Adit 850:

- Explotado entre 1959 y 1962
- La entrada de la galería estuvo cerrada por años
- 2009: agua sale de la galería 850 por primera vez
- 2014: apertura de la galería y drenaje
- 2016: primera visita luego del cierre de la mina, para evaluar condiciones de seguridad



# Drenaje Ácido de Mina, Remediación de Galerías

## Proyecto: Remediación de una galería de desagüe, Mina Avoca, Irlanda



### Escaneo láser 3d:

- Nube de puntos con aproximadamente 12 millones de puntos coordinados
- Distancia entre puntos 2,2 cm
- Luego del procesamiento reducción a 1,5 millones de puntos a 6,5 cm distancia
- Procesamiento de la malla (malla triangular) usando Autodesk Revit

# Drenaje Ácido de Mina, Remediación de Galerías

Proyecto: Remediación de una galería de desagüe, Mina Avoca, Irlanda



## Estudio de Trazadores:

- Adición de rodamina (rojo / naranja) y fluoresceína (verde) en 6 sitios fuera de la galería
- Entrada principal del agua a la galería: a 588 m de distancia de la entrada como una cascada a través de un pique alimentado desde el lago a cielo abierto
- Varias entradas menores de agua
- Aumento de cobre, aluminio y zinc disueltos; disminución de hierro disuelto



# Drenaje Ácido de Mina, Remediación de Galerías

Proyecto: Remediación de una galería de desagüe, Mina Avoca, Irlanda

Antes



Después



# Análisis de Daños

# Diseños de Remediación

(Reología, Hidro(geo-)logía, Geotecnia)

# Análisis de Daños y Diseños de Remediación

## Proyecto: Remediación de la antigua mina de lignito Nachterstedt, Alemania



### Cliente

- Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV)

### Proyecto

- Deslizamiento de tierra de una mina de lignito remediada: 2009-07-18 a las 4:40 am.
- Volumen del deslizamiento ca. 4,5 Mio. m<sup>3</sup>; ¡3 muertos!

### Desafíos

- Presión hidrológica (artésiana)
- Estrés dinámico (sísmico)
- Licuefacción de arenas sueltas y húmedas
- Remediación del desprendimiento de tierra de la mina

### Servicios

- Consultoría geotécnica, diseño
- Cálculos de estabilidad y liquidación
- Planificación de remediación y programa de respaldo

# Tranques de Relaves

- ✓ Geotecnia, modelado numérico 2D/3D y de elementos finitos
- ✓ Cálculos de estabilidad (incl. estabilidad sísmica)
- ✓ Reología/hidrología del pulpo de relaves
- ✓ Remediación de acuíferos subterráneos
- ✓ Remodelación muros del tranque
- ✓ Decomisionamiento y cobertura final

# Proyecto: Cierre y Remediación TSF Culmitzsch, Alemania



## Cliente

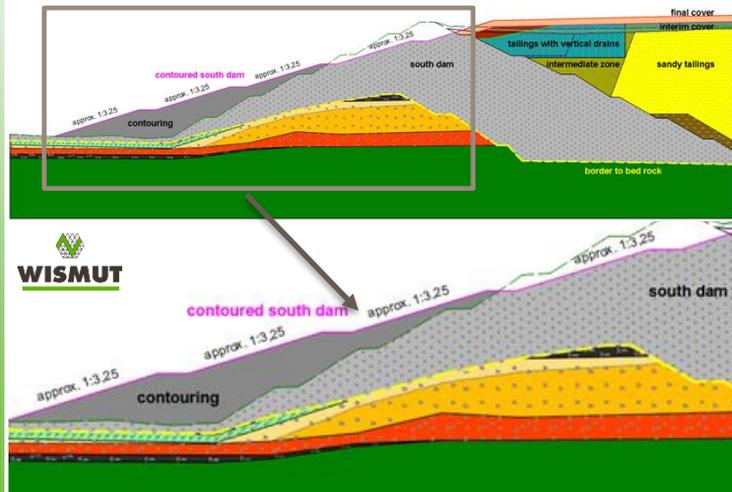
- WISMUT GmbH

## Proyecto

- Reenganche del dique exterior sur y sureste de la TSF
- El dique sur carecía de estabilidad bajo estrés dinámico (sísmico)

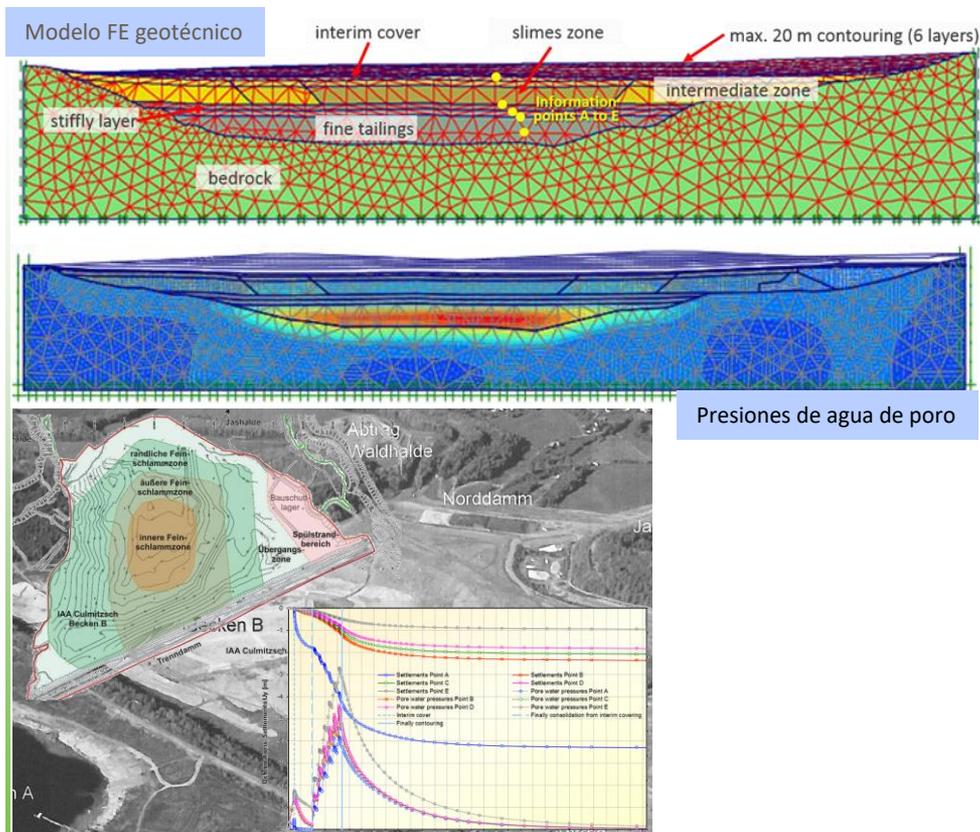
## Servicios

- Prueba de estabilidad (sísmica)
- Diseño/ingeniería reestructuración muro del tranque
- Contorneado de la cuenca B
- Evaluación experta del pronóstico de asentamiento
- Calificación de la idoneidad del material
- Contorneado de la presa sur/sureste
- Contorneado y cobertura final del tranque



# Proyecto: Cierre y Remediación TSF Culmitzsch, Alemania

## Cálculos Numéricos de Asentamiento



### Cliente

- WISMUT GmbH

### Proyecto

- Contorneado (cobertura intermedia y final) TSF Culmitzsch, estanque B (27 millones de toneladas de relaves, espesor que alcanza hasta 63 m)
- El contorno planificado con estructuras de montículos y el drenaje natural de la capa de agua abierta permanecería intacto después del asentamiento

### Servicios

- Cálculos numéricos de asentamiento
- Cálculo de asentamientos (6,5 m!) y presiones de agua de poro en cada fase de contorneado (capa de contorneado de 20 m)

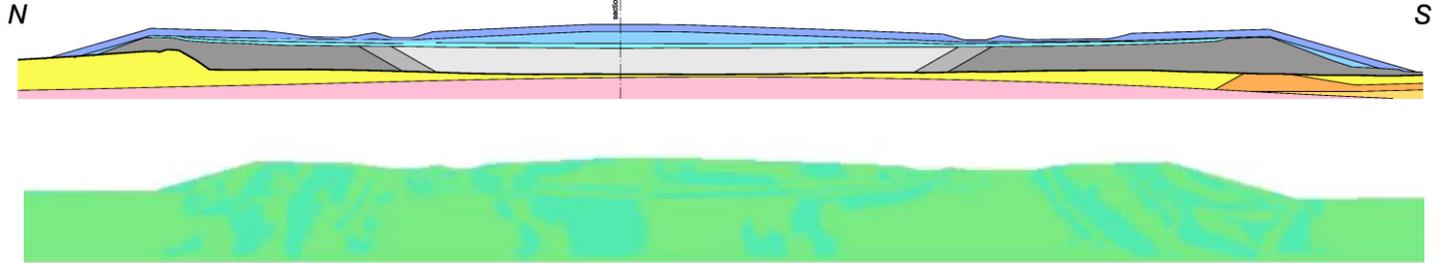
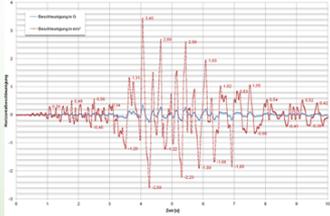
# Proyecto: Cierre y Remediación TSF Culmitzsch: Estado Final



# Proyecto: Remediación TSF Dänkrütz II, Alemania

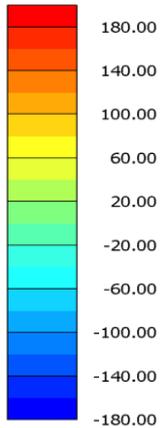
## Impacto de Terremotos en la Estabilidad

Section 2 - 2'



Desarrollo de desplazamientos horizontales – sección 2 - 2'

(mm)



Desarrollo de desplazamientos horizontales - pendiente sur

# Uso Post-Cierre

(Supervisión de Construcción, Diseño, Geotecnia, Mecánica de Rocas)

# Depósitos de Material Radioactivo

## Mina Konrad - Conversión de la mina existente en un lugar de almacenamiento final

### Ciente

- DBE – Empresa alemana para la construcción y explotación de depósitos de residuos

### Duración

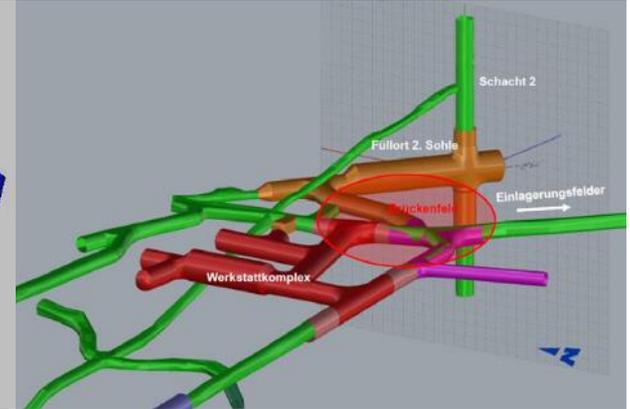
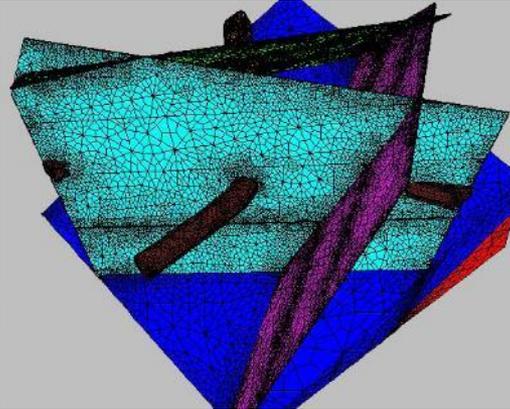
- 2009 - 2022

### Volumen Proyecto:

- € 4,0 MM (CDM Smith)
- € 4.000,00 MM (proyecto total)

### Servicios

- Supervisión de construcción
- Diseño de túneles y cavernas
- Diseño estructural
- Dibujo 3D de estructura subterránea
- Inlining (concreto) de túneles
- Control de inventario
- Cálculos FLAC 3D-FD



# Depósitos de Material Radioactivo

Mina Konrad - Conversión de la mina existente en un lugar de almacenamiento final





Mina Konrad, complejo de talleres de la bahía de lavado, 02YEA01/R13-02YEA01/R14, Christian Bierwagen. Diseño fotográfico 2018



**listen. think. deliver.**