



II
CUMBRE INTERNACIONAL
ECO **minera**

UNIDOS bajo un mismo cielo azul



GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
SECRETARÍA DE MINAS



Gestión del Agua de Minas

La minería es imprescindible para el desarrollo humano.

La gestión del agua de mina es fundamental en la Minería Sostenible.

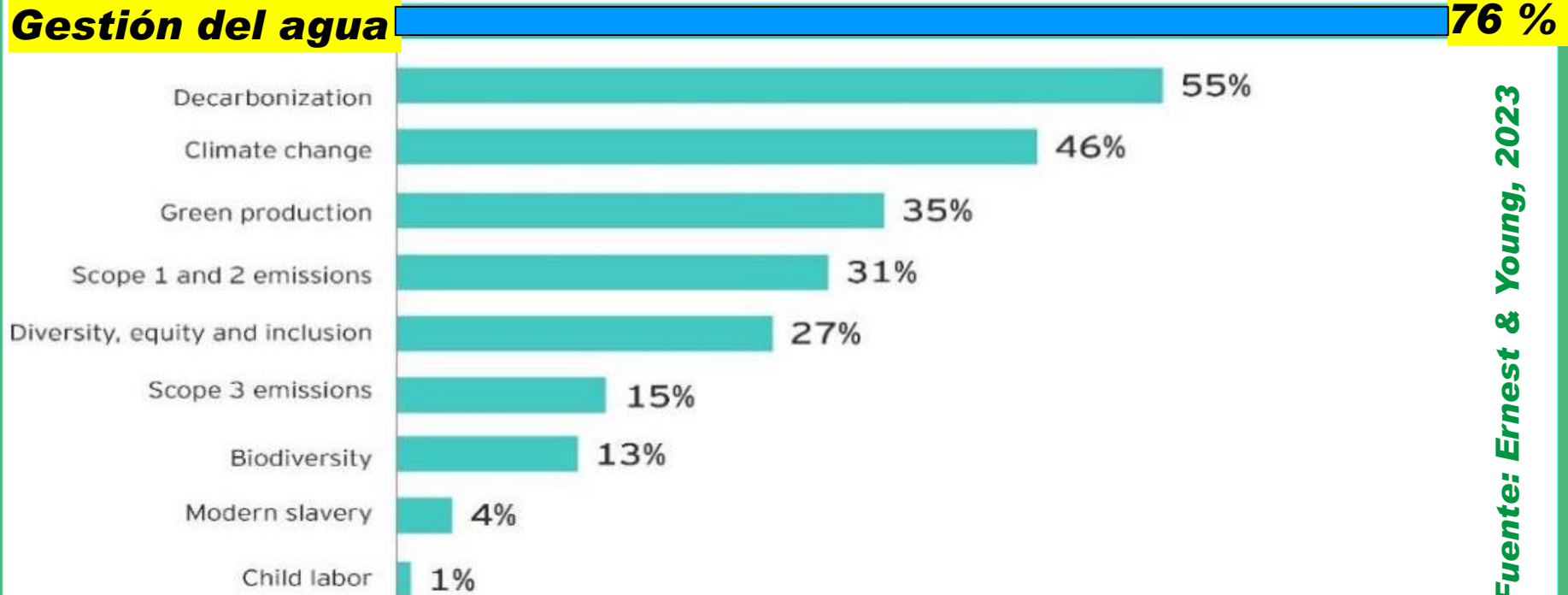


Foto: Rafael Fernández Rubio.

Gestión del Agua de Minas

TOP 10 RISK 2023

Principales desafíos para las empresas mineras



Fuente: Ernest & Young, 2023

Gestión del Agua de Minas

El agua de mina

puede ser un gran problema...

Pero se puede convertir

***en un gran activo social,
ambiental y económico.***

Presencia del agua en la minería subterránea



Gestión del Agua de Minas

Ejemplo prototipo minería subterránea: Mina de Reocín, Cantabria, España

Mineralización: Sulfuro polimetálico.

Roca de caja: Calizas.

Formación fuertemente karstificada.

Procesos de enriquecimiento secundario.

Amplia recarga.

Minería bajo cota 0 m snm. Relativamente cerca del cantábrico.

Minería desde principios siglo XX.

Corta a cielo abierto. Desarrollo subterráneo.

Caudales de drenaje minero: 1600 L/s.

Acuífero estratégico.

Mina inundada.

Gestión del Agua de Minas



Mina de Reocín, Cantabria, España.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Gestión del Agua de Minas

El agua puede ser un gran problema en la mina subterránea.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Gestión del Agua de Minas

Manifestaciones del agua en la mina de Reocín.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Gestión del Agua de Minas

Irrupciones del agua en la mina de Reocín.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Gestión del Agua de Minas

Manifestaciones del agua en la mina de Reocín.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

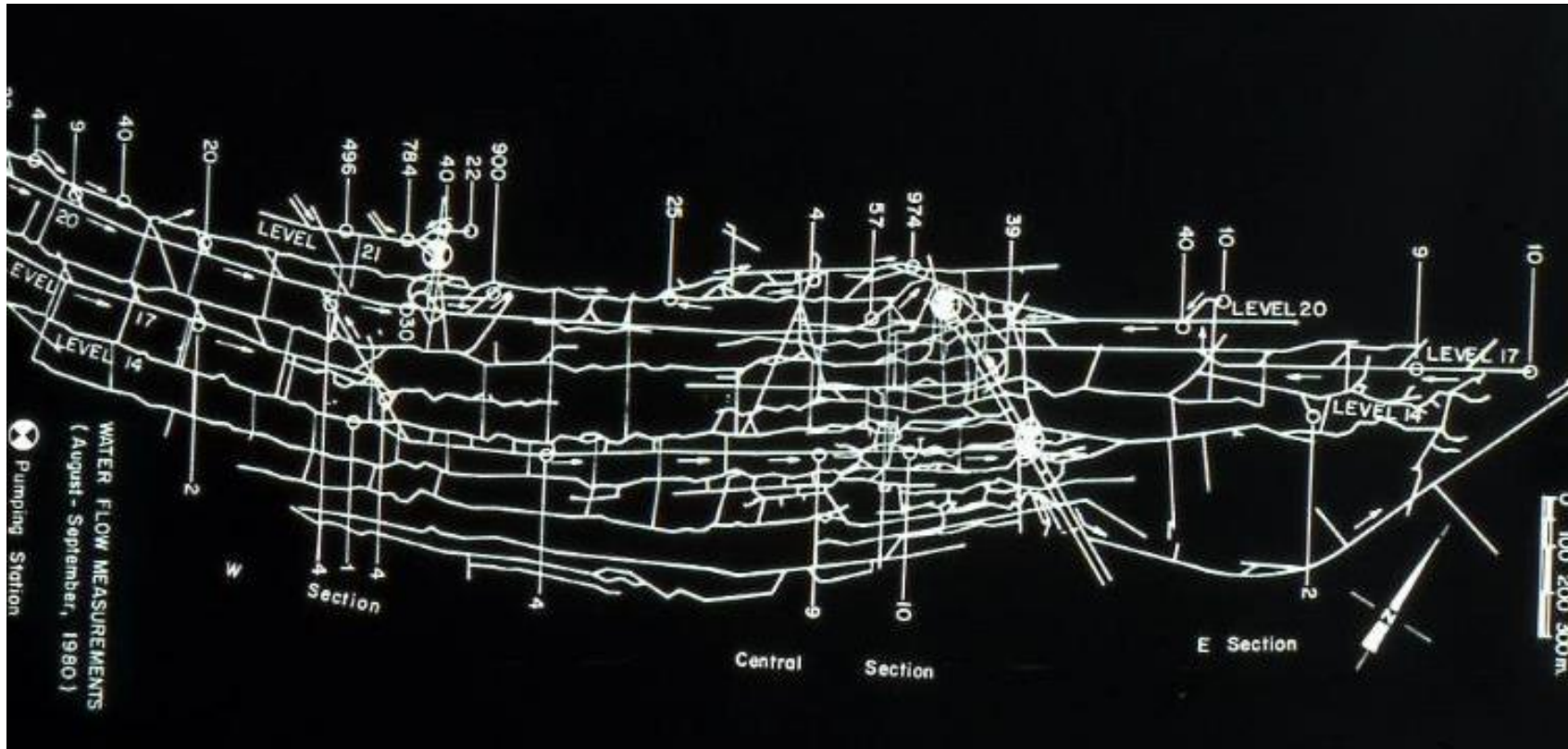
Gestión del Agua de Minas

Flujo de agua por transversal y descarga de irrupción por galería.



Gestión del Agua de Minas

Aforos de agua en la mina de Reocín.



Gestión del Agua de Minas

Gestión del agua en la minería subterránea



Gestión del Agua de Minas

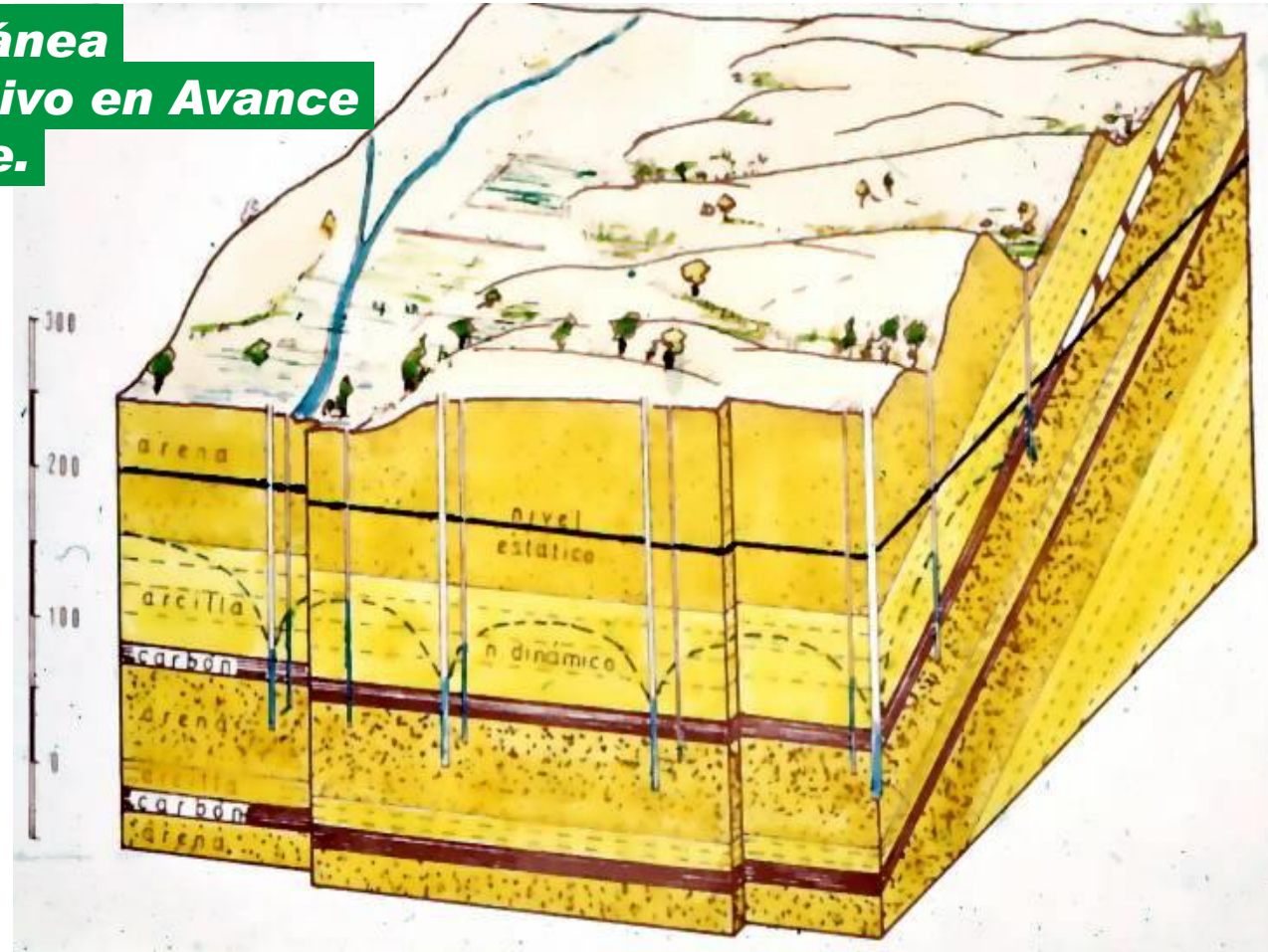
Minería subterránea
Contexto geológico.



Lipnica Mine, Yugoslavia.

Gestión del Agua de Minas

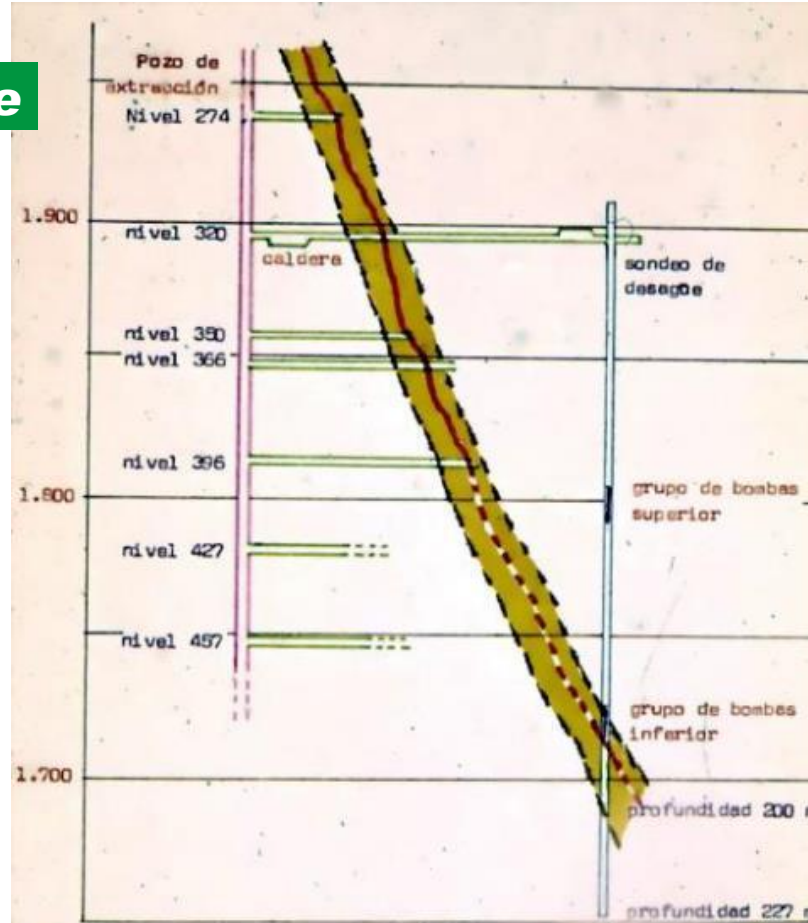
**Minería subterránea
Drenaje Preventivo en Avance
desde superficie.**



Lipnica Mine, Yugoslavia.

Gestión del Agua de Minas

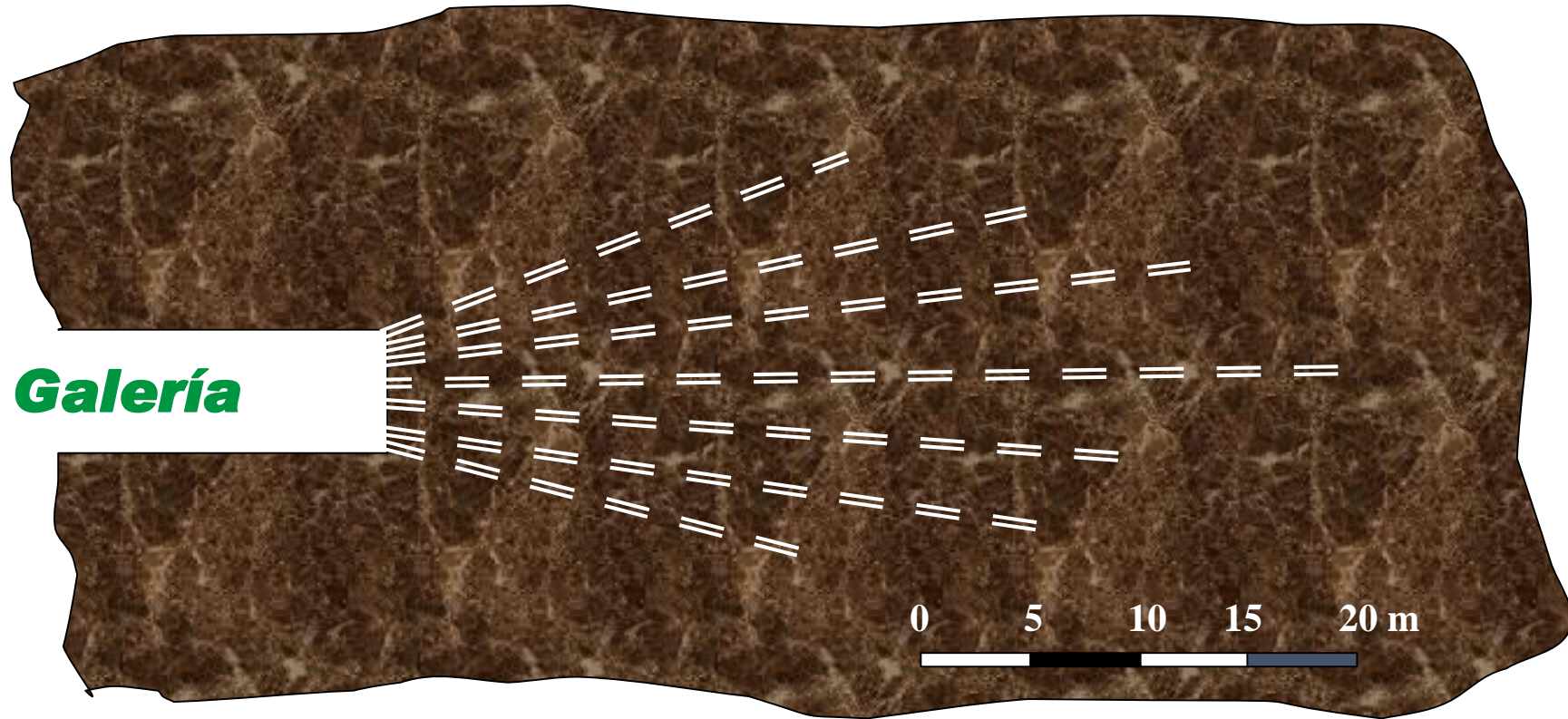
**Minería subterránea
Drenaje Preventivo en Avance
con sondeos verticales
desde interior.**



Lipnica Mine, Yugoslavia.

Gestión del Agua de Minas

Minería subterránea
Drenaje Preventivo en Avance con taladros desde interior.



Gestión del Agua de Minas

**Minería subterránea
Drenaje Preventivo en Avance
con taladros desde interior.**

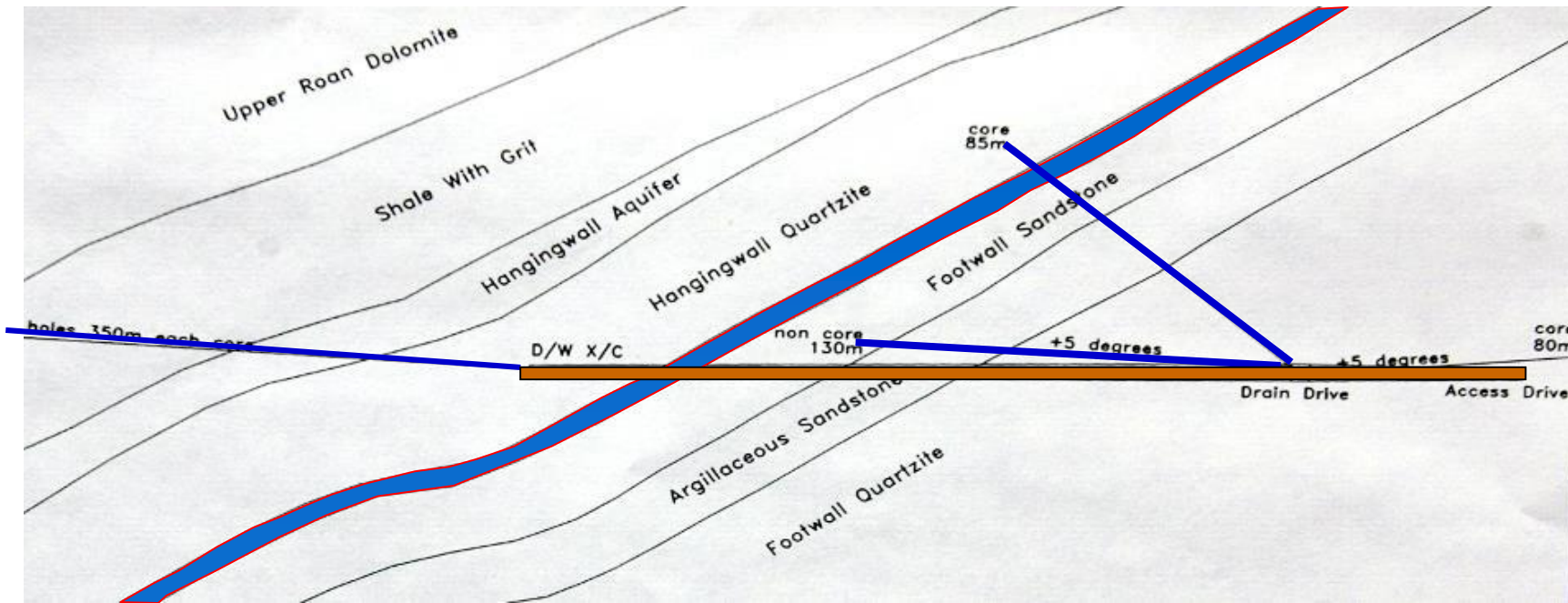


Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Belmonte, Asturias, España.

Gestión del Agua de Minas

**Minería subterránea
Drenaje Preventivo en Avance
con taladros desde galerías de interior.**



Konkola Mine, Chililabombwe, Zambia.

Gestión del Agua de Minas

Control del agua drenada con taladros perforados desde frente de galerías.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Konkola Mine, Chililabombwe, Zambia.

Gestión del Agua de Minas

**Galería colectora de
agua de drenaje.**



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Konkola Mine, Chililabombwe, Zambia.

Gestión del Agua de Minas

Agua de drenaje colectada por galerías.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Konkola Mine, Chililabombwe, Zambia.

Gestión del Agua de Minas

Estación subterránea de bombeo.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

	Controlada	Incontrolada	Total
Pozo N° 1	33 %	43 %	76 %
Pozo N° 2	1 %	23 %	24 %
Total	34 %	56 %	100 %

Konkola Mine, Chililabombwe, Zambia.

Gestión del Agua de Minas

**Descarga Pozo 1
al río Lubengele.**



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Konkala, Chililabomwe, Zambia.

Gestión del Agua de Minas

Estación subterránea de bombeo.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Reocín, Cantabria, España.

Gestión del Agua de Minas

Tuberías para elevación del agua entre niveles de mina.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Reocín, Cantabria, España.

Gestión del Agua de Minas

Bombeo al exterior del agua drenada



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Reocín, Cantabria, España.

Presencia del agua en la minería a cielo abierto



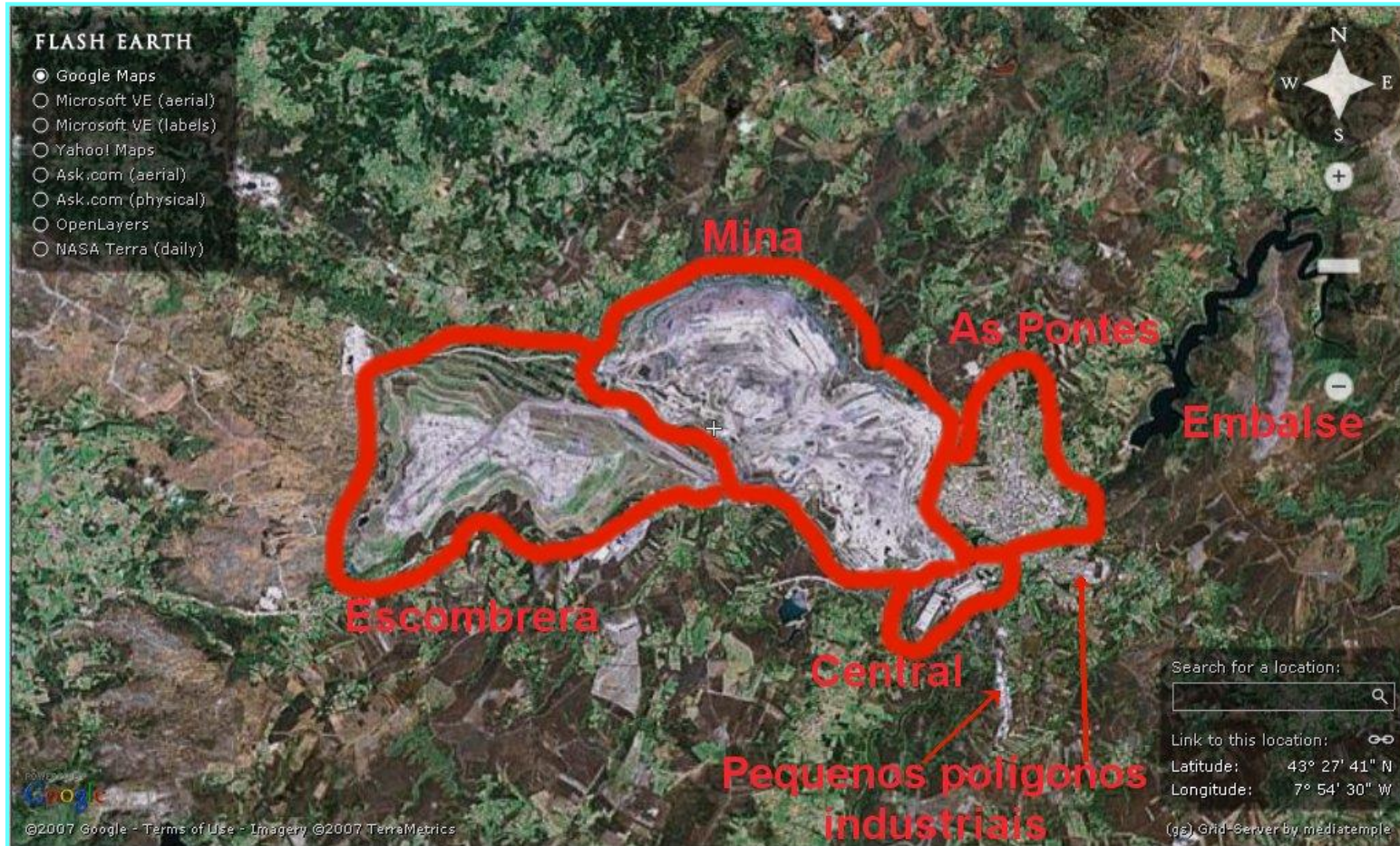
Gestión del Agua de Minas



Foto: Rafael Fernández Rubio.

Mina de As Pontes, Galicia, España.

Gestión del Agua de Minas



Datos: ENDESA.



Mina de carbón de As Pontes A Coruña, España.

Gestión del Agua de Minas

Rehabilitación de una mina de carbón a cielo abierto



Mina de As Pontes A Coruña, España.

Fotos: ENDESA.



Gestión del Agua de Minas

Inundación de minas a cielo abierto

Una mina a cielo abierto es un espacio endorreico, receptor y acumulador de agua de precipitación directa, escorrentía superficial y flujos subterráneos...



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de As Pontes, A Coruña, España.

Gestión del Agua de Minas

**Una mina a cielo abierto
tiene que mantenerse
libre de agua.**



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina N4E Serra dos Carajás, Pará, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes

A mayor ángulo de talud
menor cantidad de estériles
a desmontar y mayor riesgo
de inestabilidad...



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

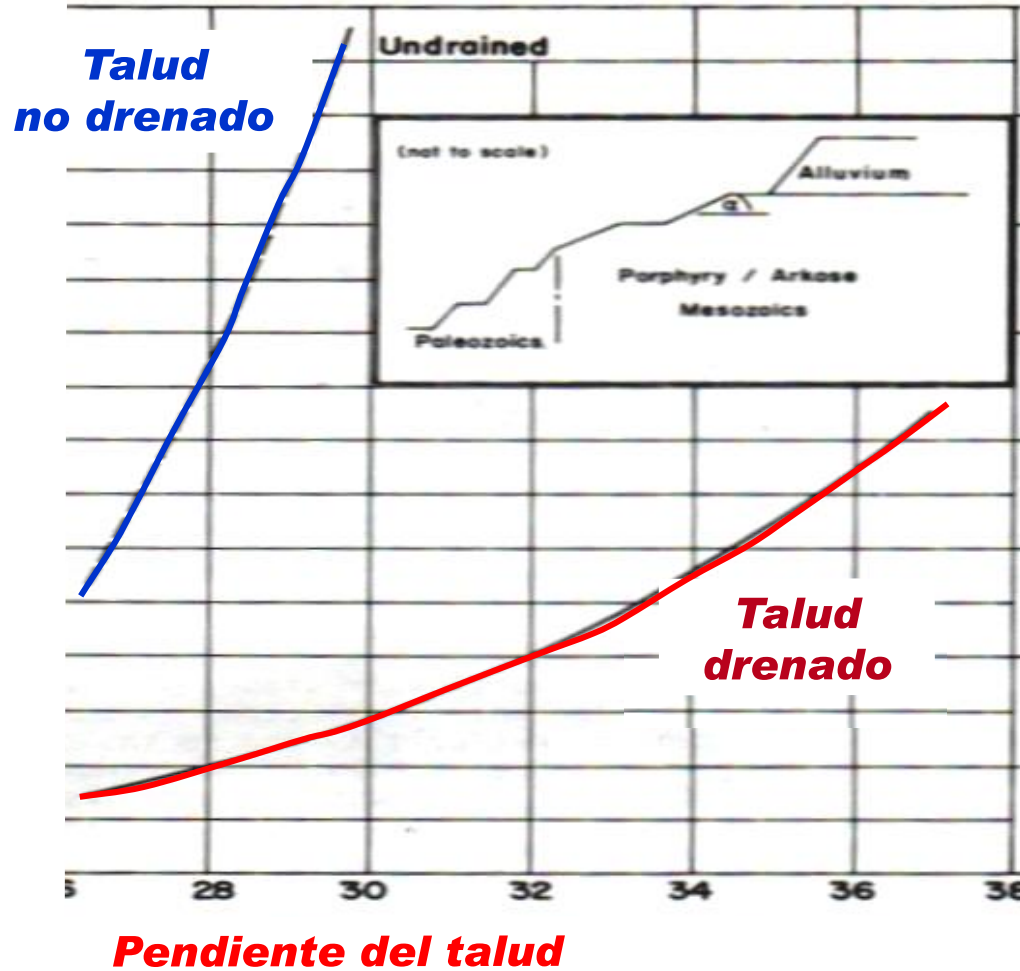
Mina Córrego de Feijão, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes

La estabilidad se mejora notoriamente con el drenaje...

Probabilidad de deslizamiento (%)



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Águas Claras, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes

Grietas de descompresión en la coronación del deslizamiento.

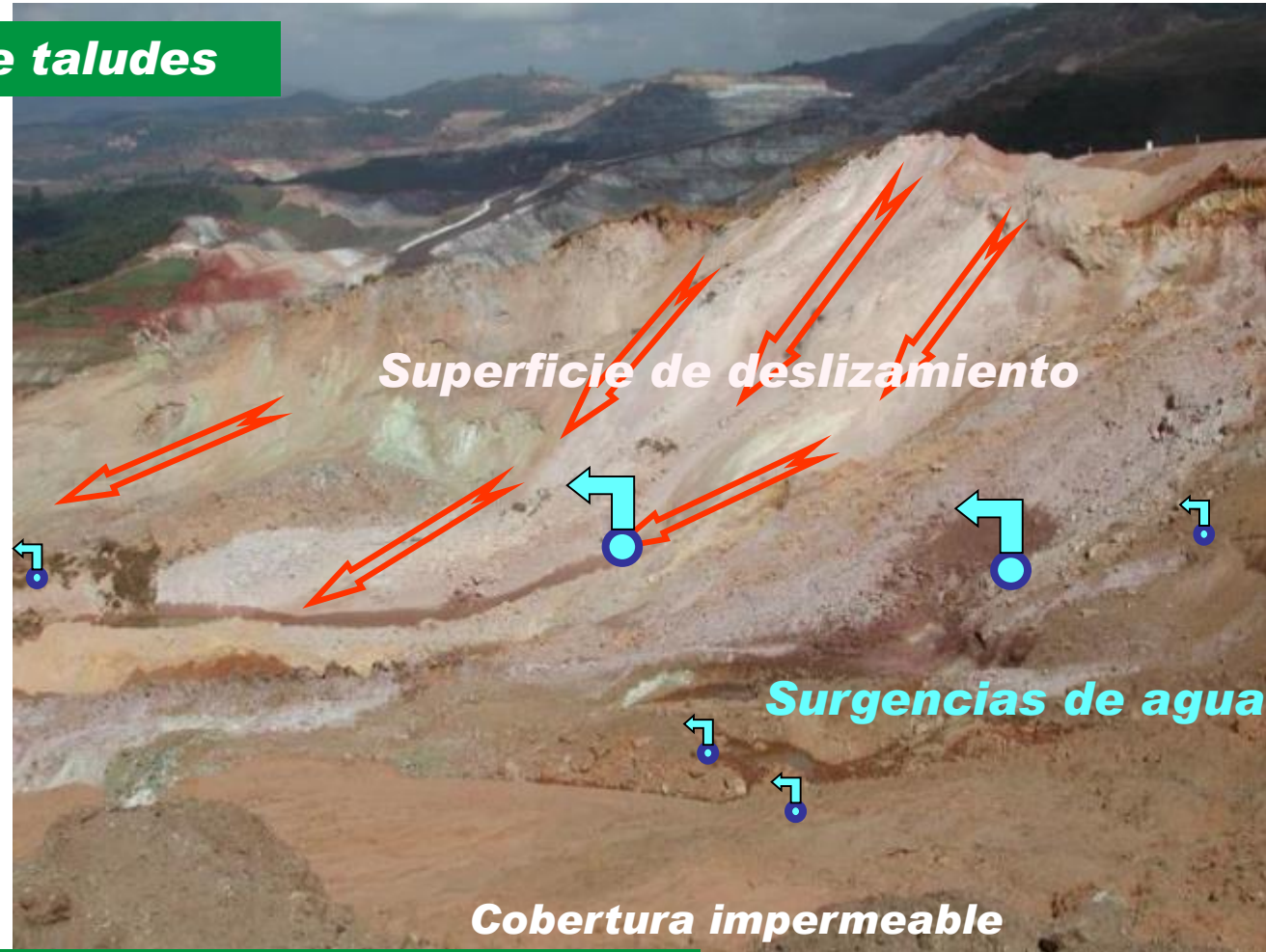


Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais,
Brasil.



Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes

**Lagunas laterales
por intercepción
de escorrentías
superficiales.**



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Estabilidad de taludes

El deslizamiento de un talud puede acarrear daños incalculables...



Imagen: Kennecott's.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

**10 de abril de 2013.
145 millones de
toneladas de roca
estéril de muro.**



Imagen: Kennecott's.

Bingham Canyon Mine, Utah. USA.

Gestión del Agua de Minas

Gestión del agua en la minería a cielo abierto



Gestión del Agua de Minas

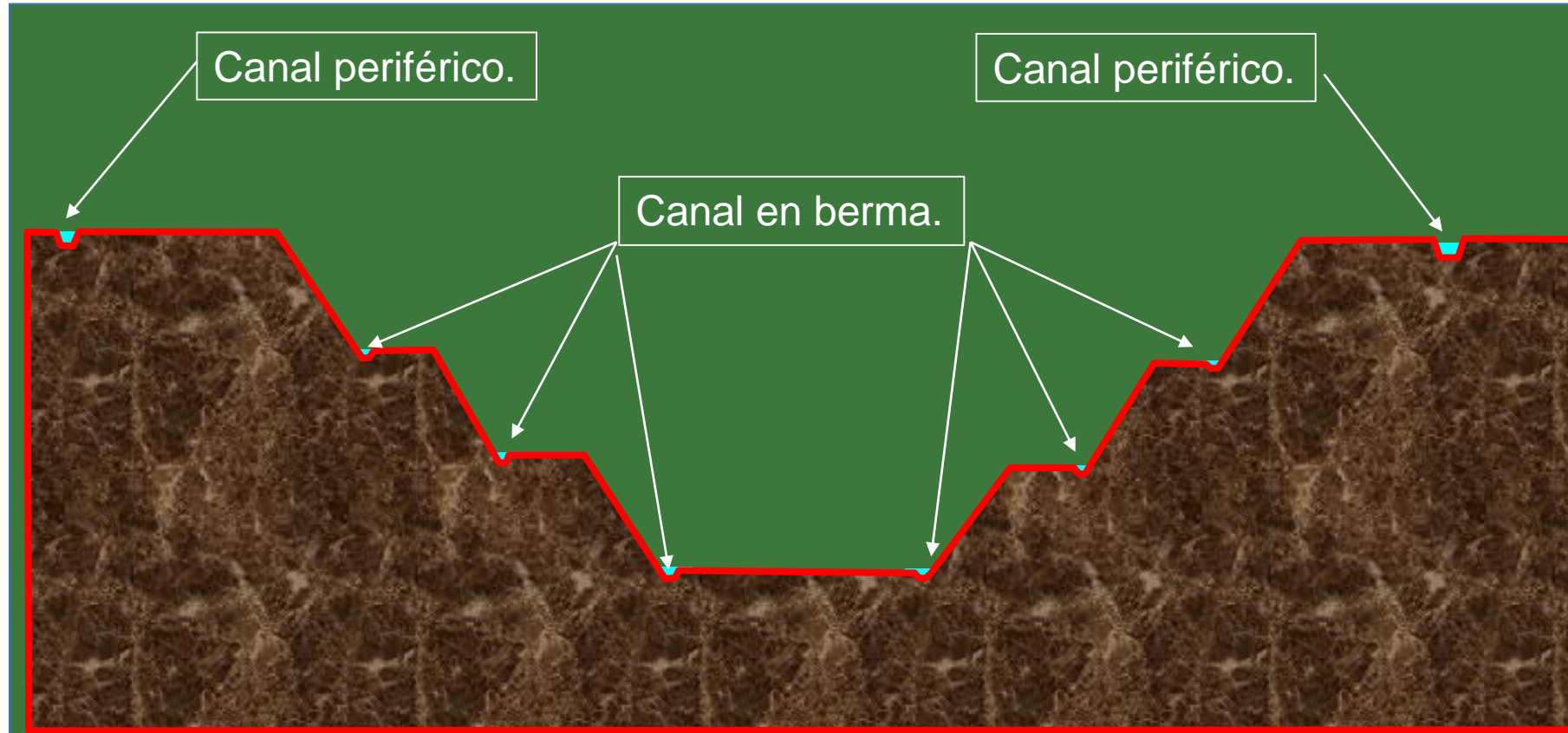
Desagüe de minas a cielo abierto



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de As Pontes, Galicia, España.

Intercepción de escorrentías



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Gestión del Agua de Minas

Evacuación de aguas en mina a cielo abierto



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Gestión del Agua de Minas

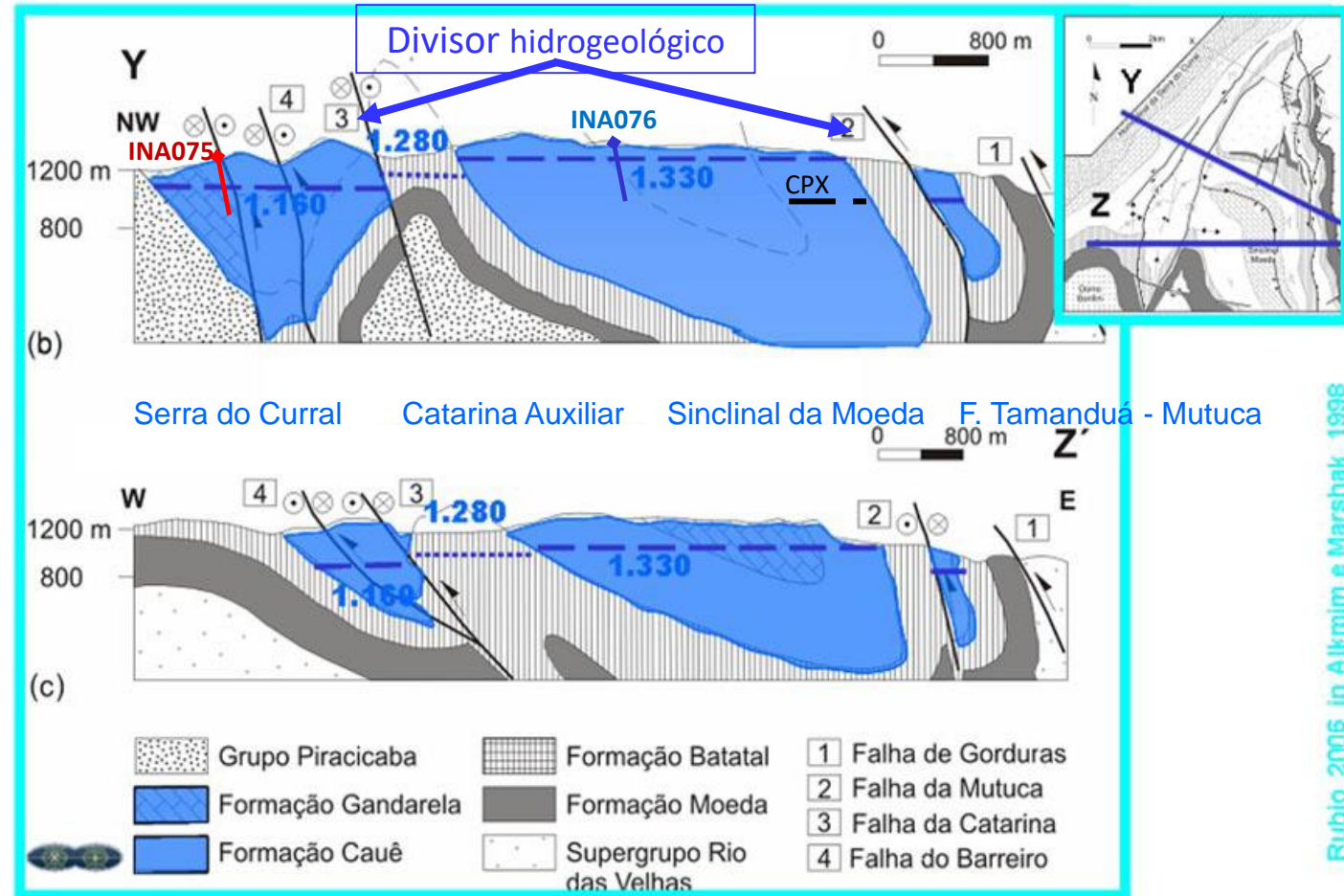
Desagüe de minas a cielo abierto



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina de Carajás, Pará, Brasil.

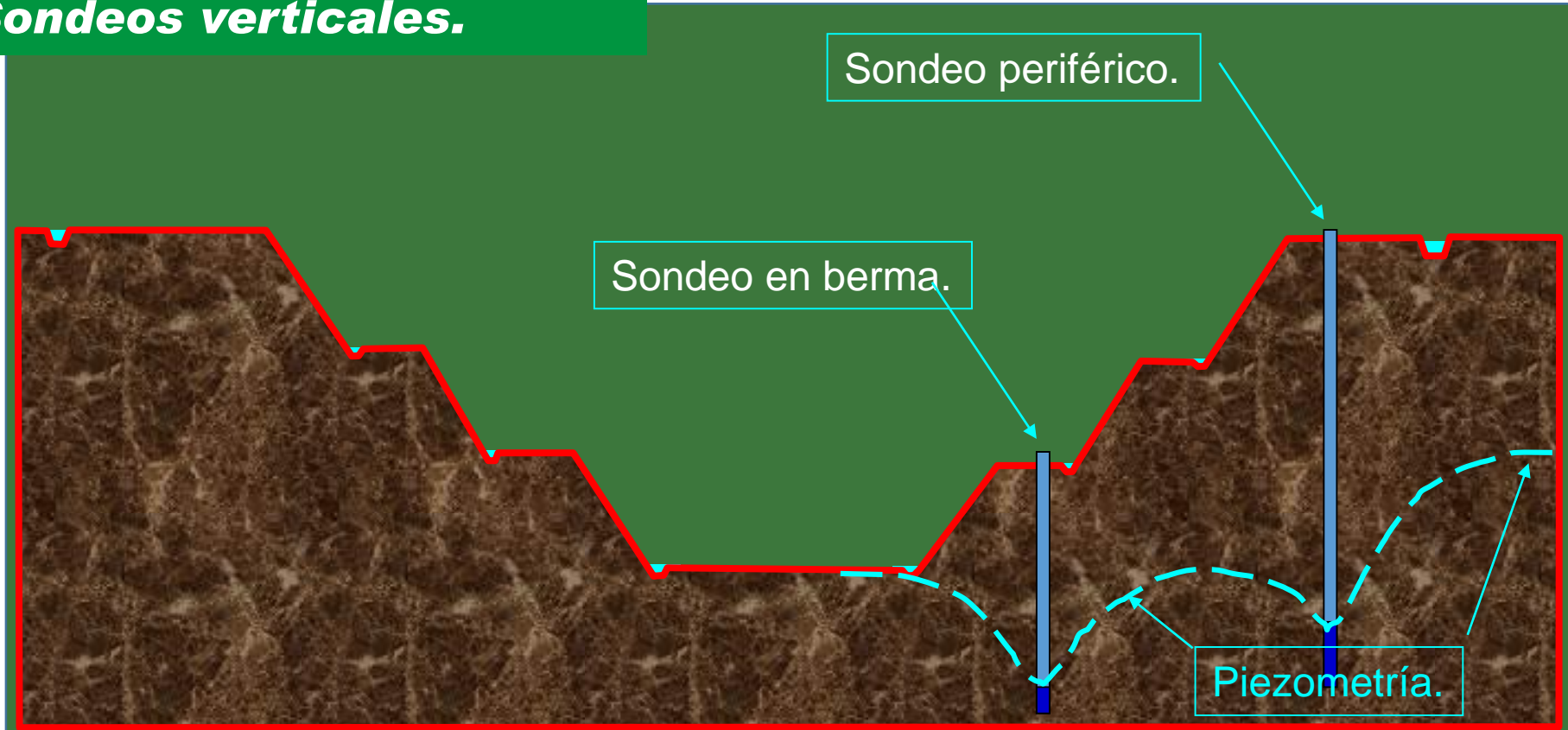
Gestión del Agua de Minas



Rubio 2006 in Alkmim e Marshak 1998

Gestión del Agua de Minas

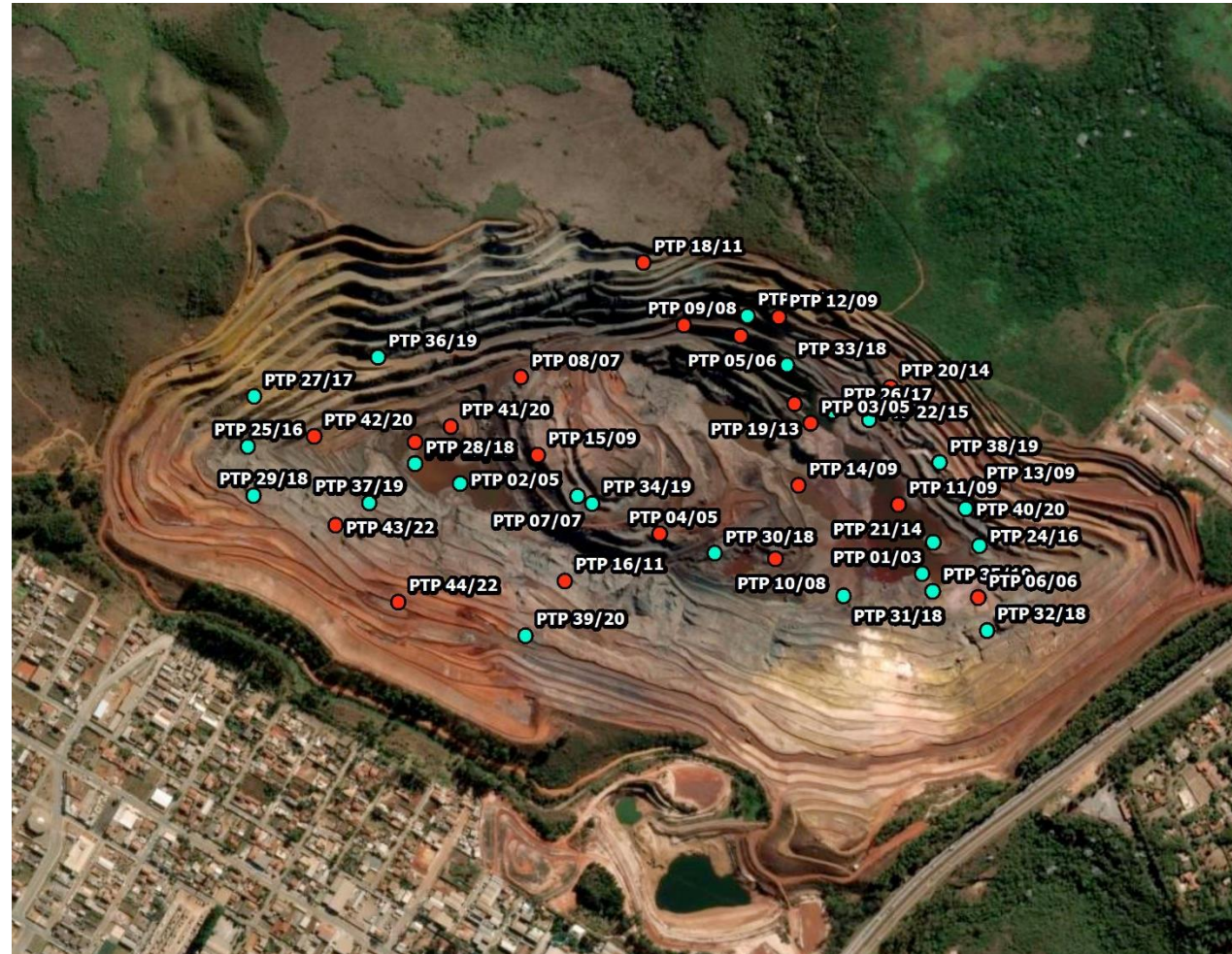
Drenaje Preventivo en Avance Sondeos verticales.



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Gestión del Agua de Minas

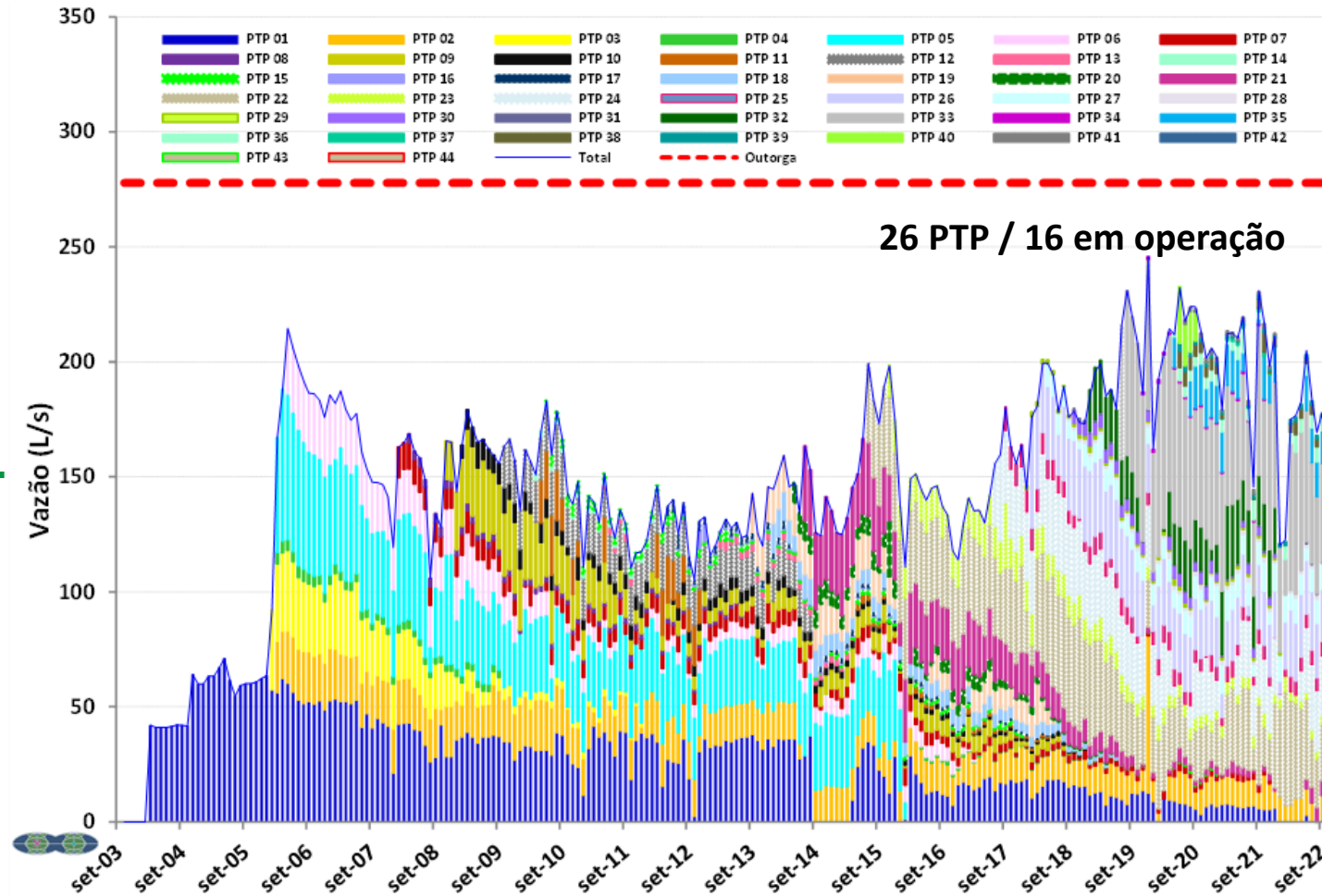
Capão Xavier.
Poços de
Bombeamento.



Fonte: Vale. Elaboração: FRASA.

Gestión del Agua de Minas

Capão Xavier.
 Poços de
 Bombeamento.

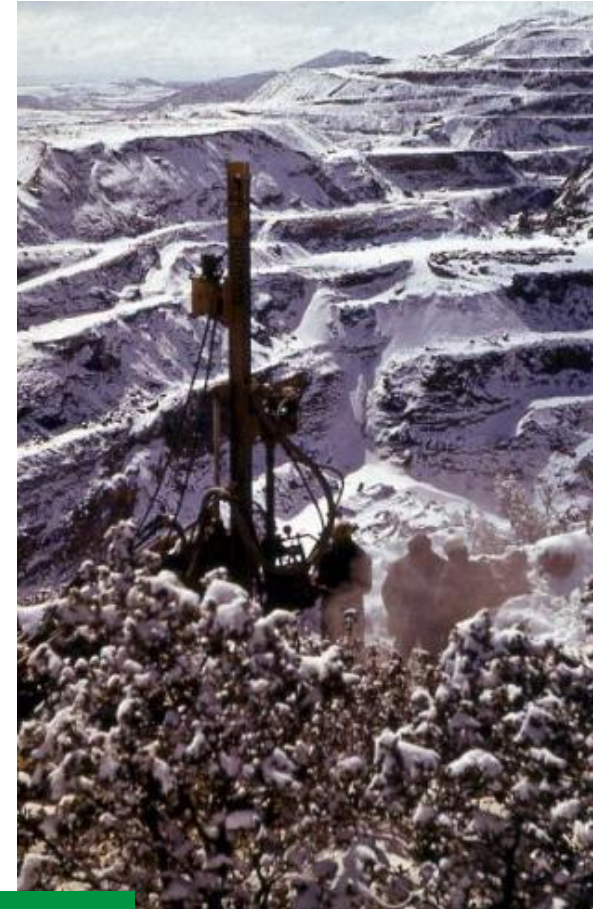
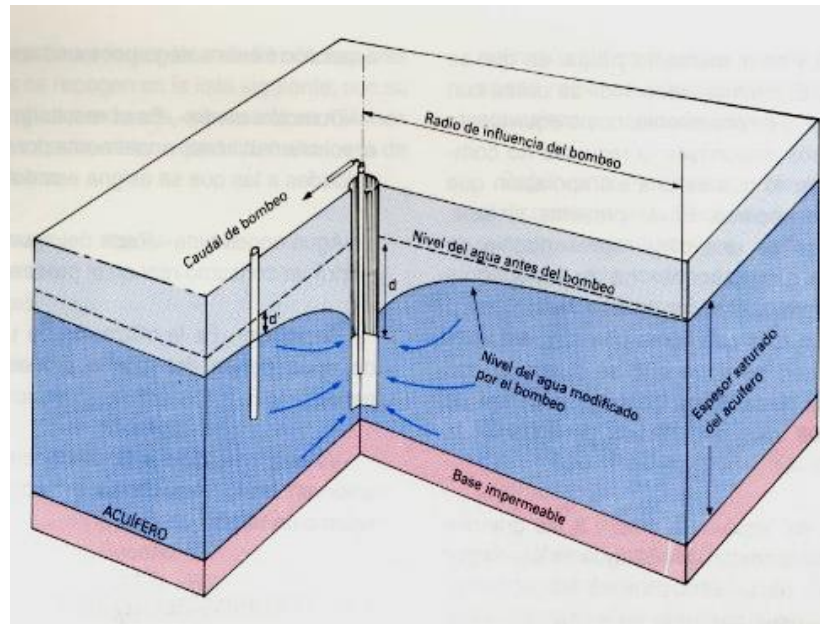


Fonte: Vale. Elaboração: FRASA.

Gestión del Agua de Minas

Drenaje de minas a cielo abierto mediante sondeos verticales

Conoide de drenaje.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Ojos Negros, Teruel-Guadalajara, España.

Gestión del Agua de Minas

Drenaje de minas a cielo abierto mediante sondeos verticales

Sondeo en fondo de corta.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Drenaje de minas a cielo abierto mediante sondeos verticales



**Sondeo en
berma**



Sondeo de
drenaje.

Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina Onça. Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Drenaje de minas a cielo abierto mediante sondeos verticales

Limpieza y desarrollo de sondeos.

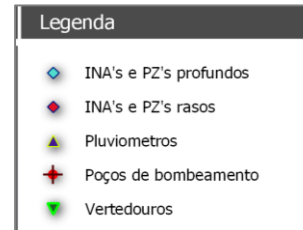
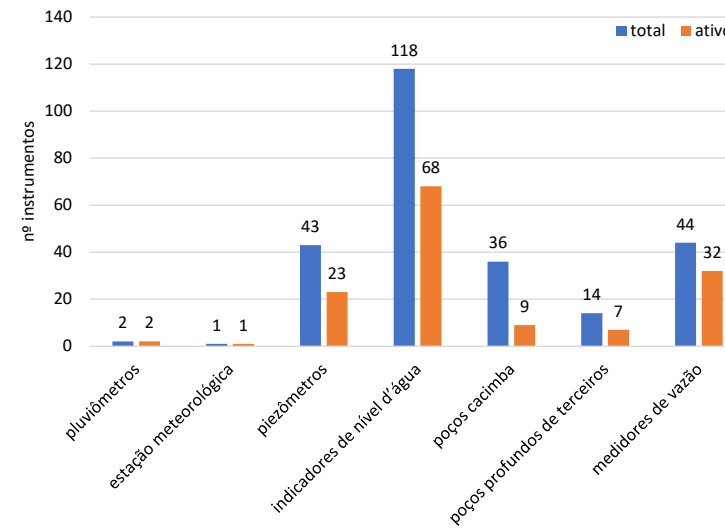


Fotos: Rafael Fernández Rubio.

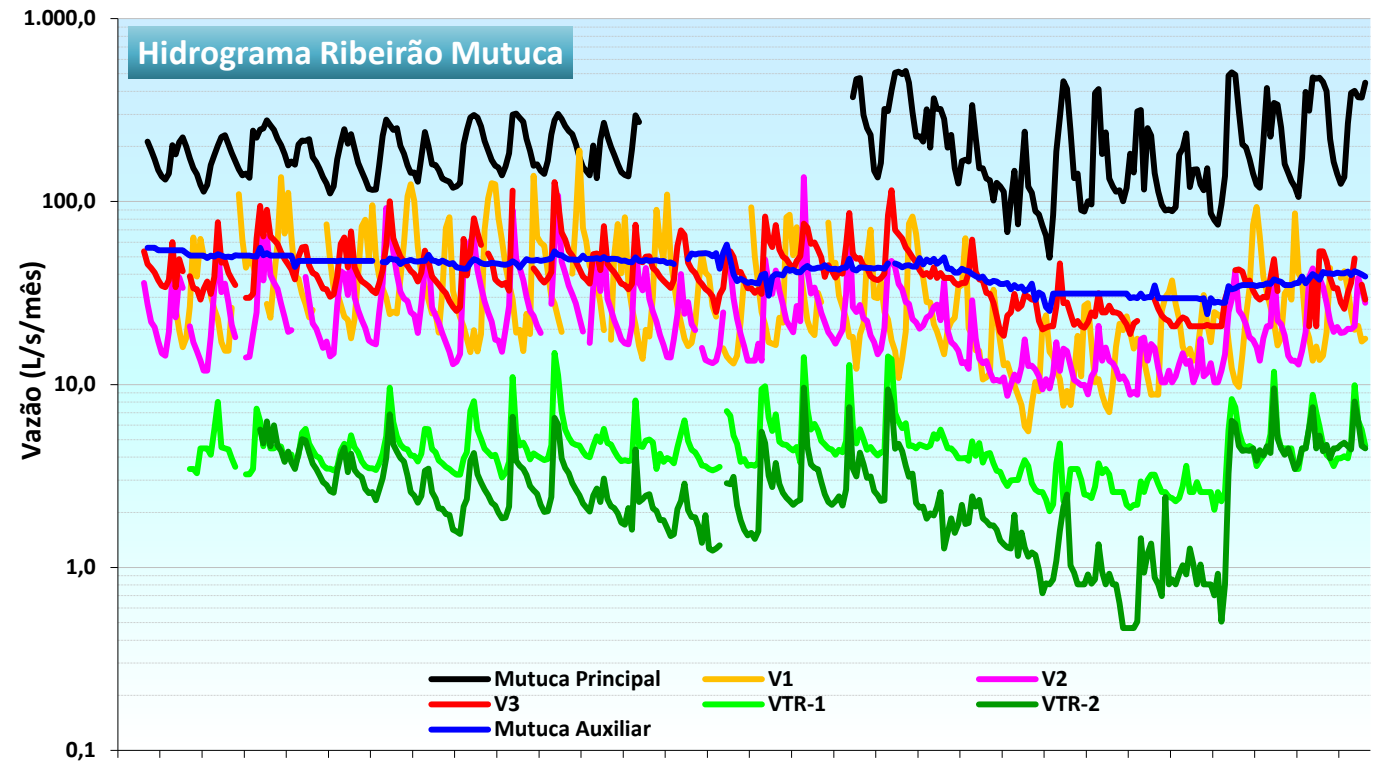
Mina Fábrica Nova, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Red de control ambiental



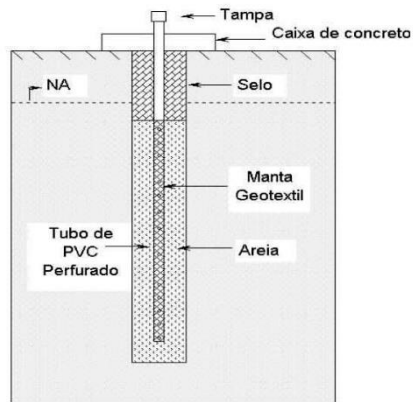
Control hidrológico



Gestión del Agua de Minas

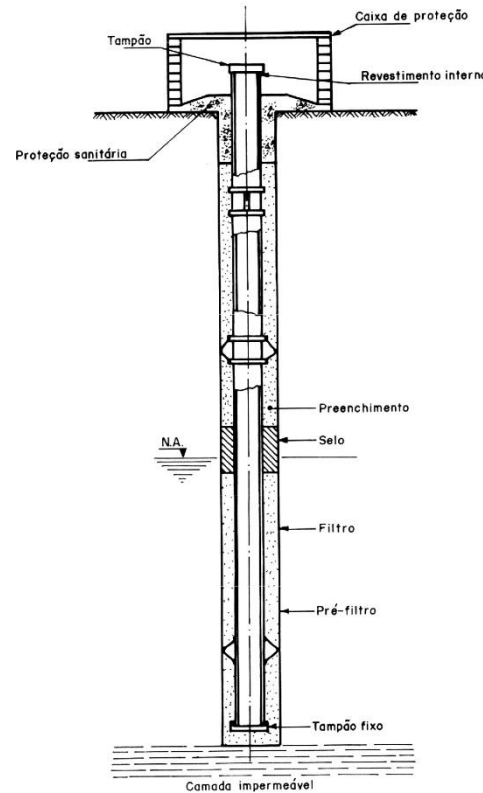
Control piezométrico

INA

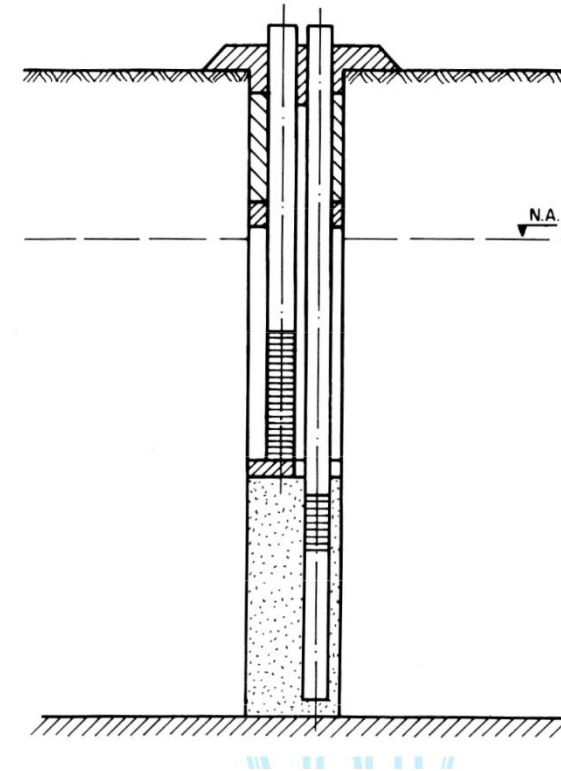


Fonte: Fonseca 2003.

PZ Simple



PZ Doble



Fonte: ABNT 1997

Gestión del Agua de Minas

Control piezométrico

*Piezómetros en
banco de corta.*



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Mina Fábrica Nova, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Control piezométrico

Piezómetro múltiple.



Piezómetro simple.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas

Drenaje de minas



Minas de Itabira, Minas Gerais, Brasil.

Control piezométrico.

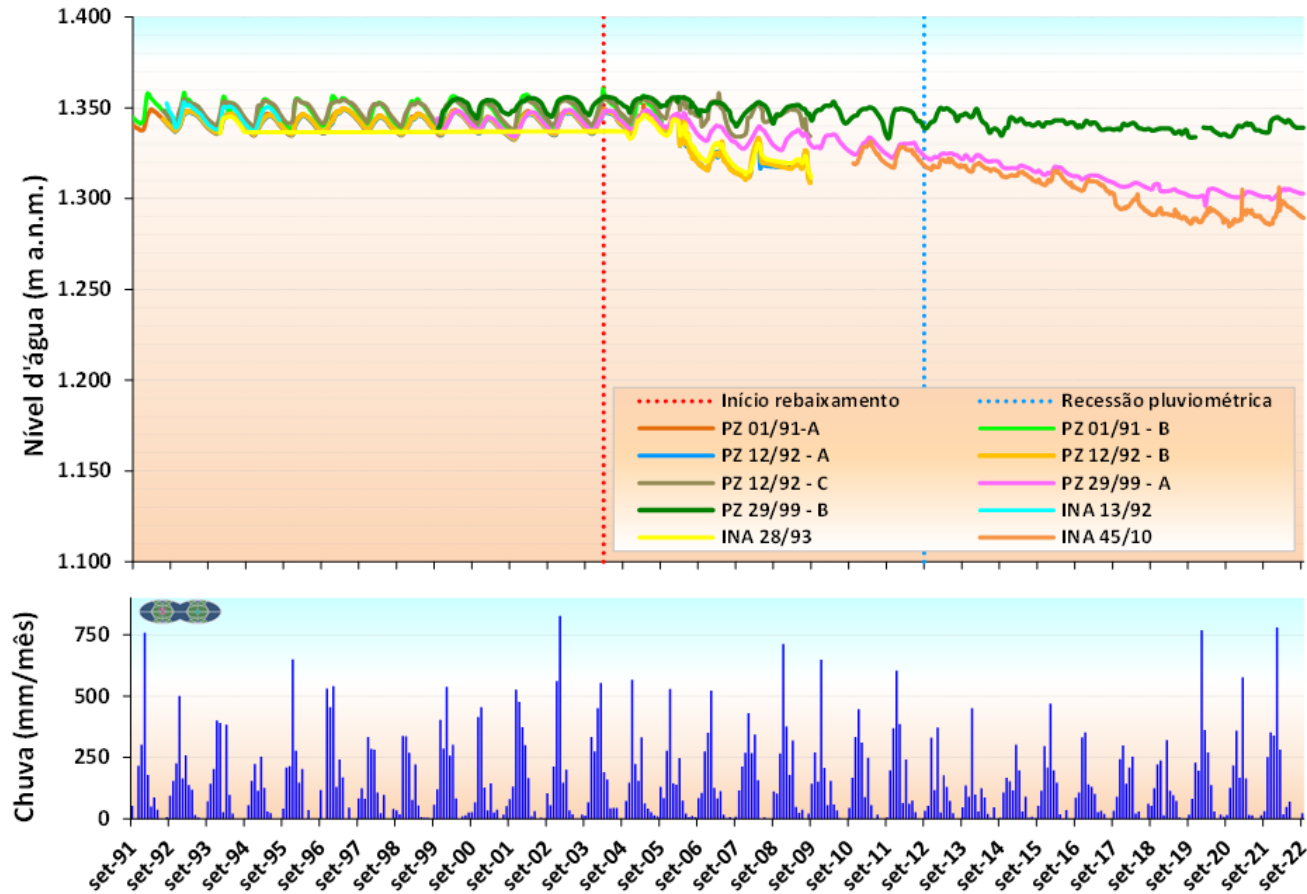
Piezómetro inclinado surgente.



Fotos: Rafael Fernández Rubio.

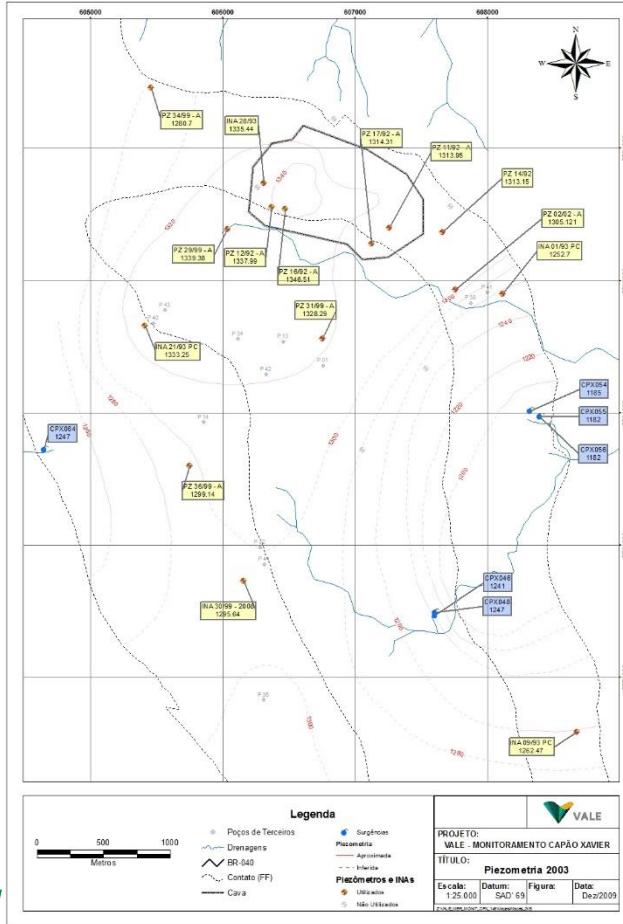
Gestión del Agua de Minas

Control piezométrico



Gestión del Agua de Minas

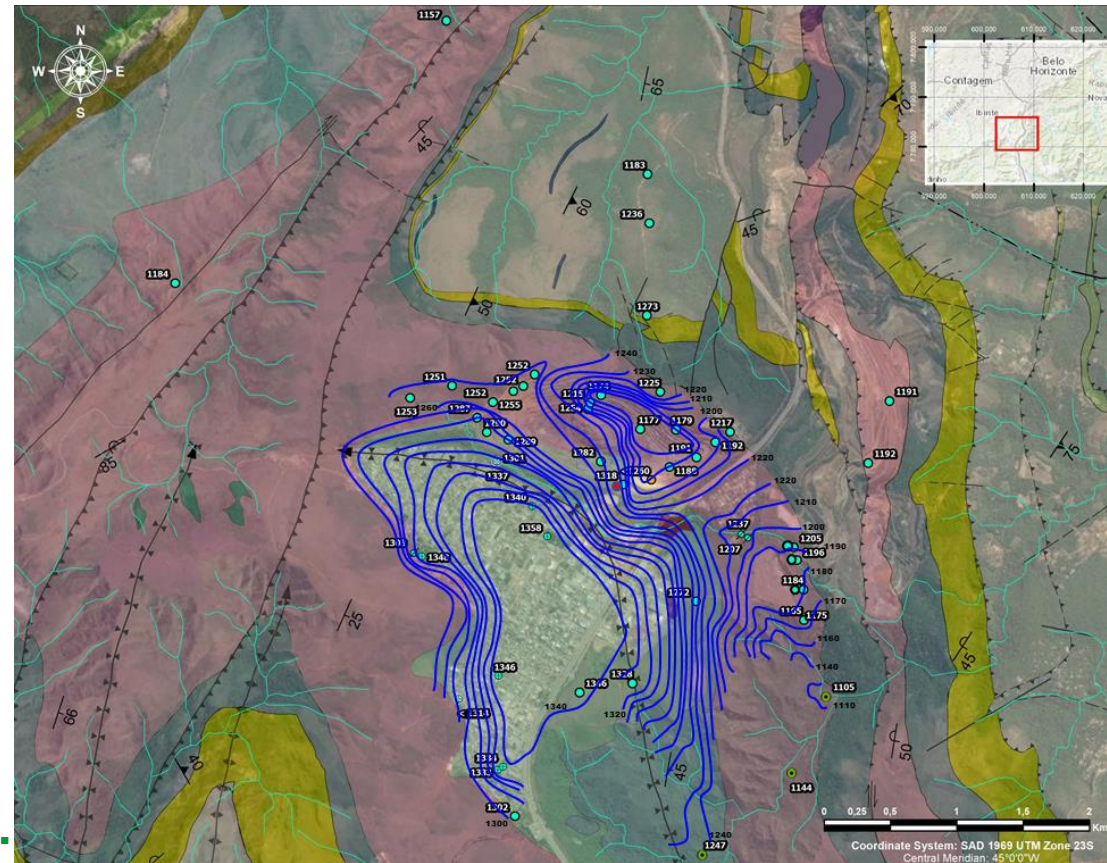
Nivel de agua



Septiembre /2003.

Gestión del Agua de Minas

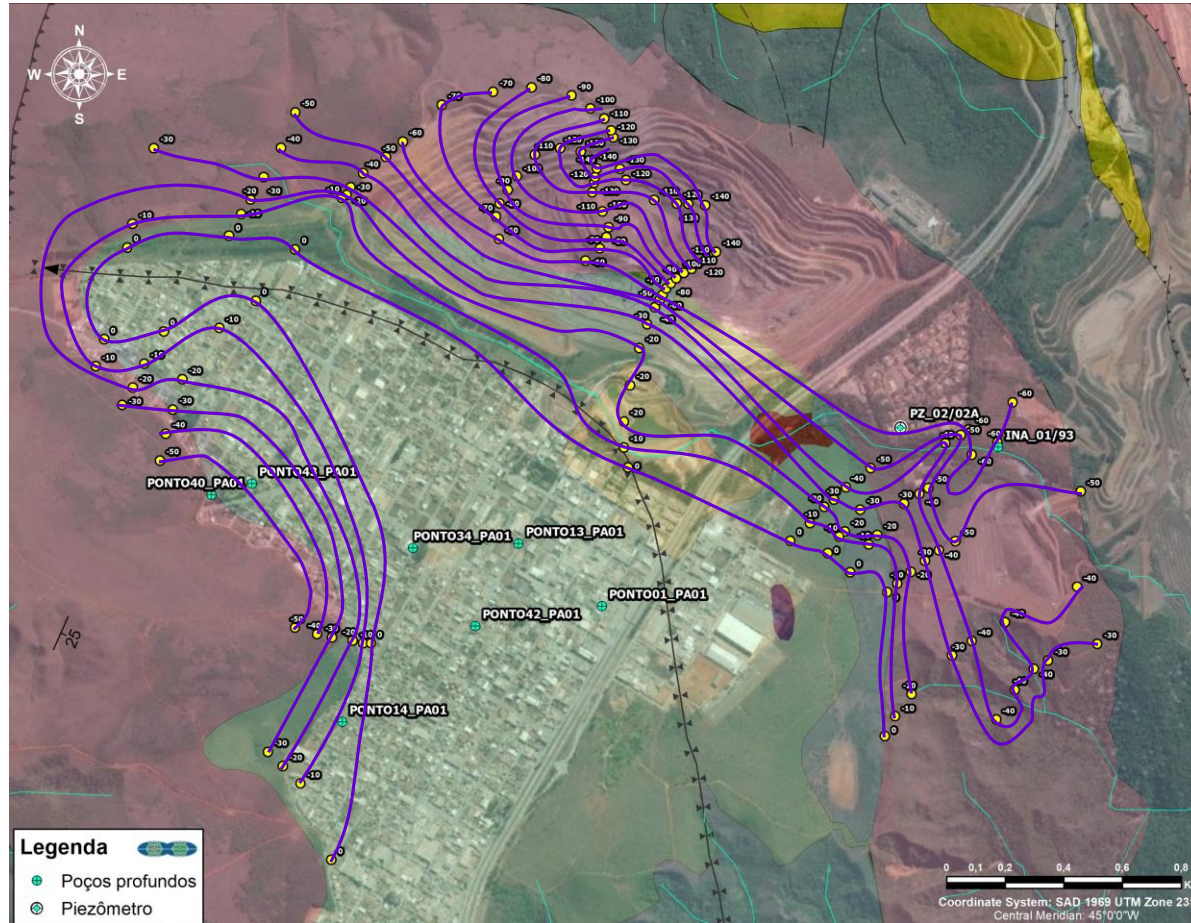
Nivel de agua



Septiembre /2022.

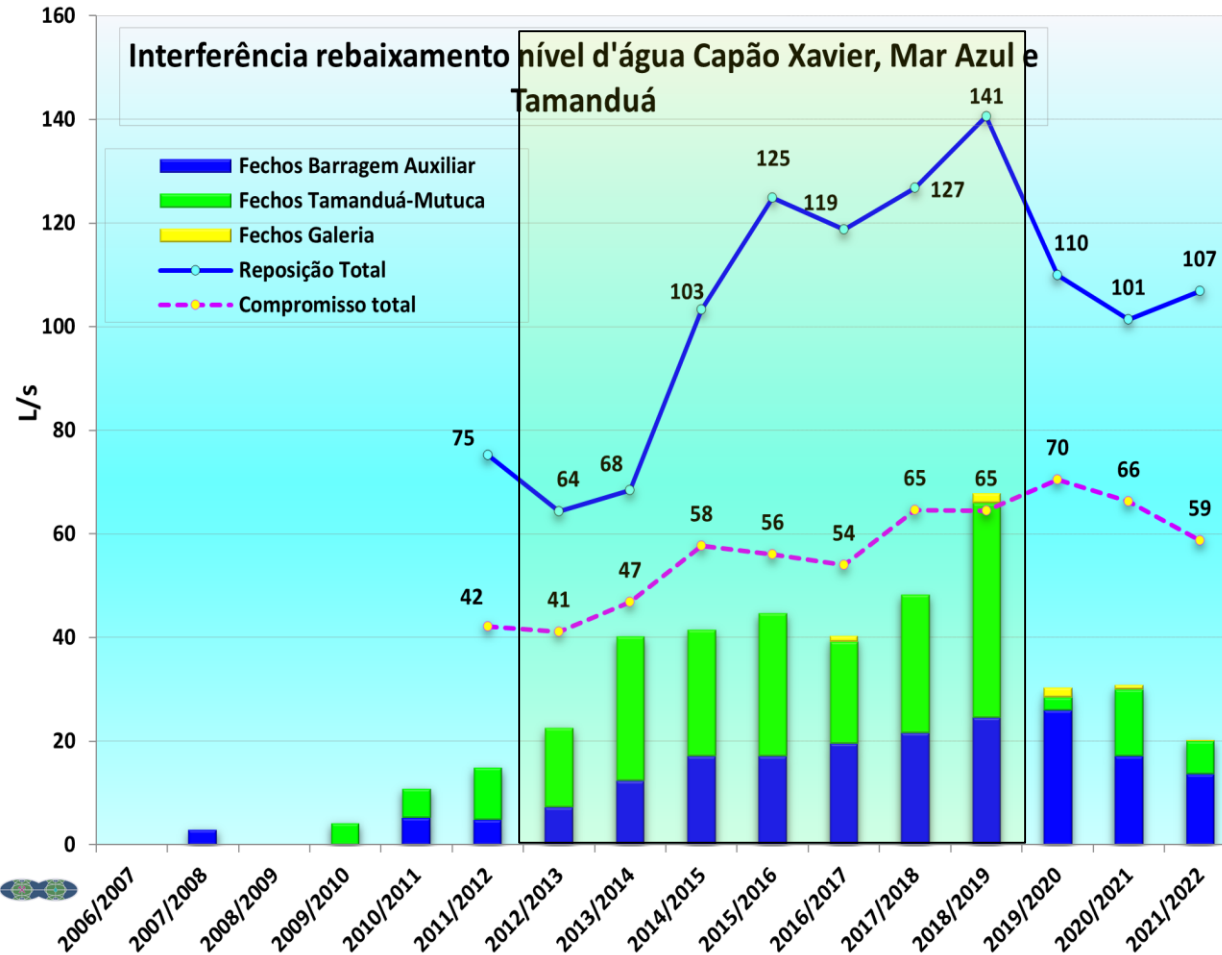
Gestión del Agua de Minas

Nivel de agua



Compara:
2003 – 2022.

Gestión del Agua de Minas

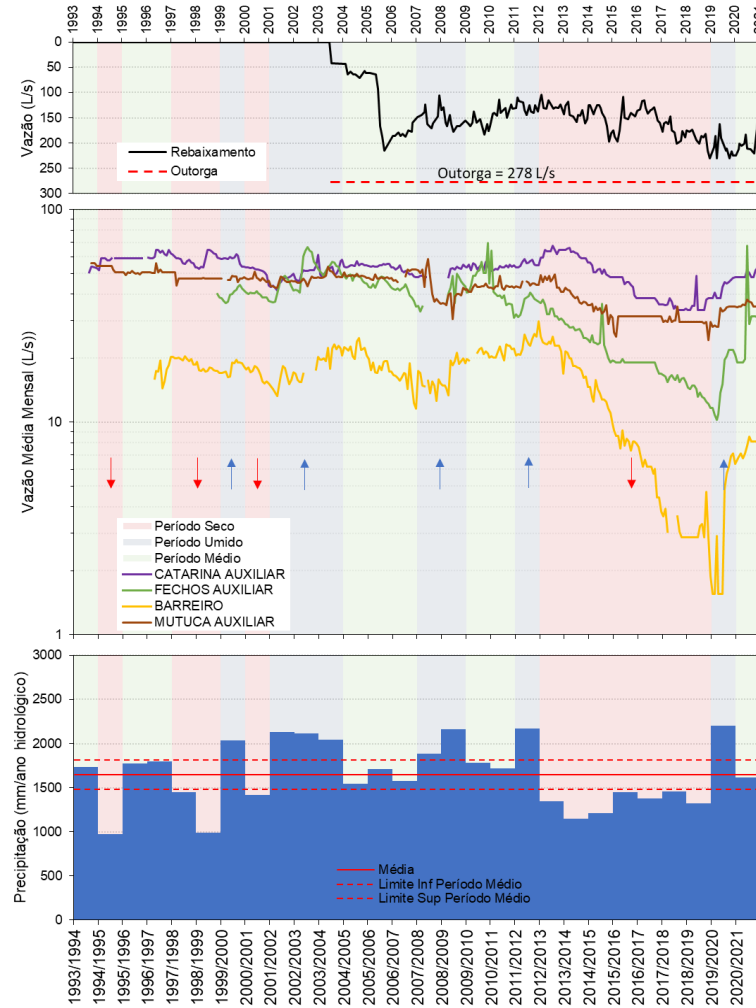


IMPACTO 2021/22.
 Baixa variabilidade
 Vale e climatologia (L/s)

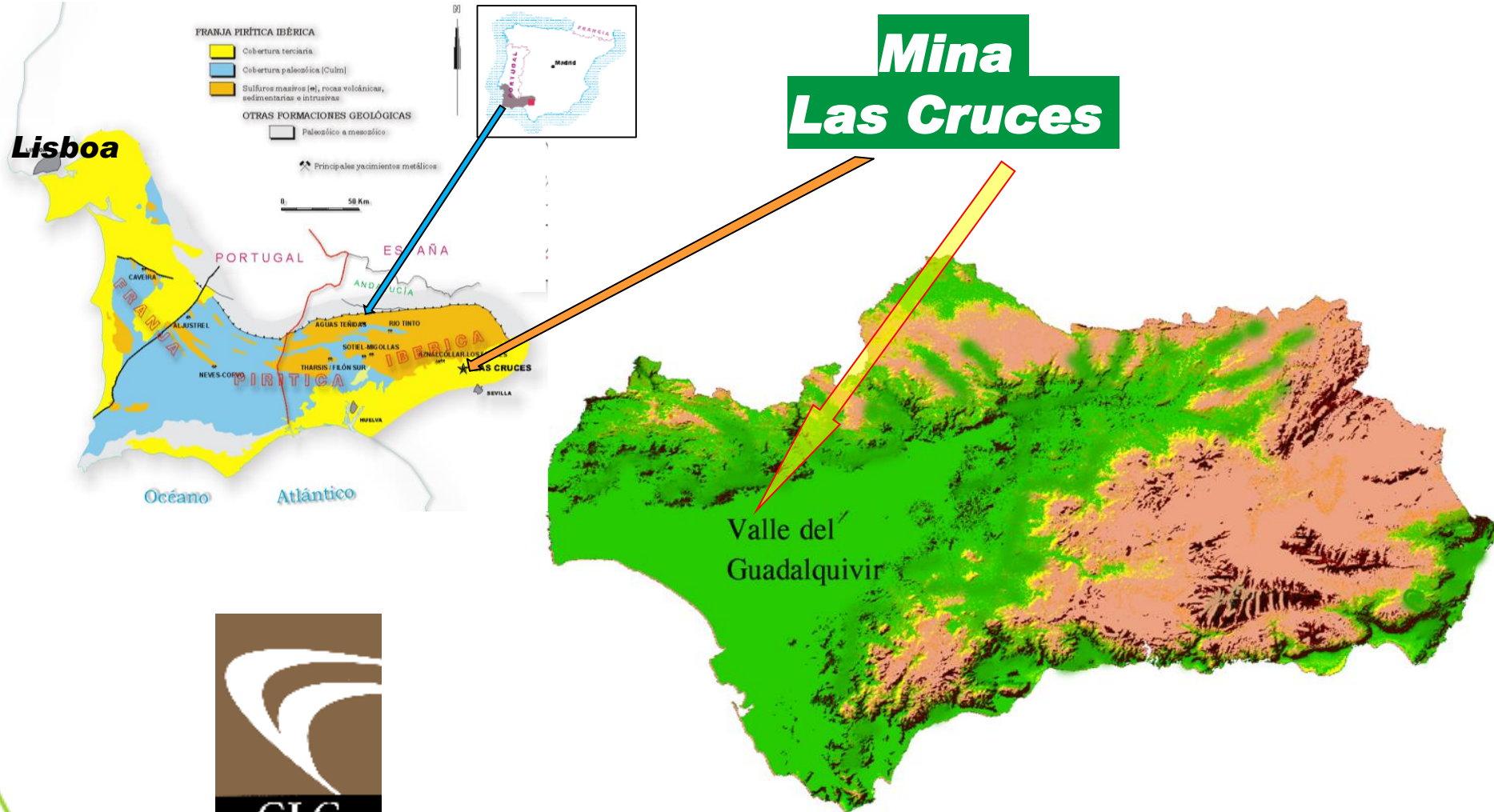
Fechos Barragem Auxiliar	13,63
Fechos Tamanduá - Mutuca	6,47
Fechos Galeria	0,24
Total Vale	20,34

Gestión del Agua de Minas

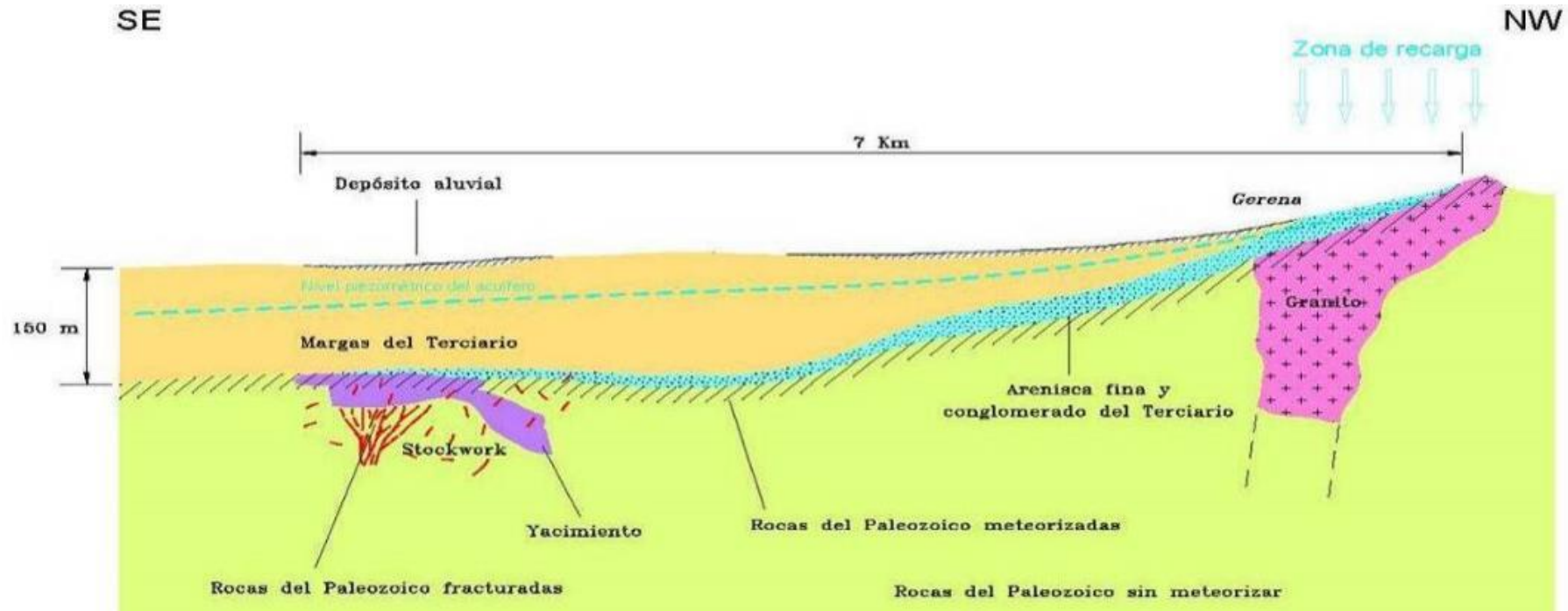
Determinación de impacto



Gestión del Agua de Minas



Gestión del Agua de Minas



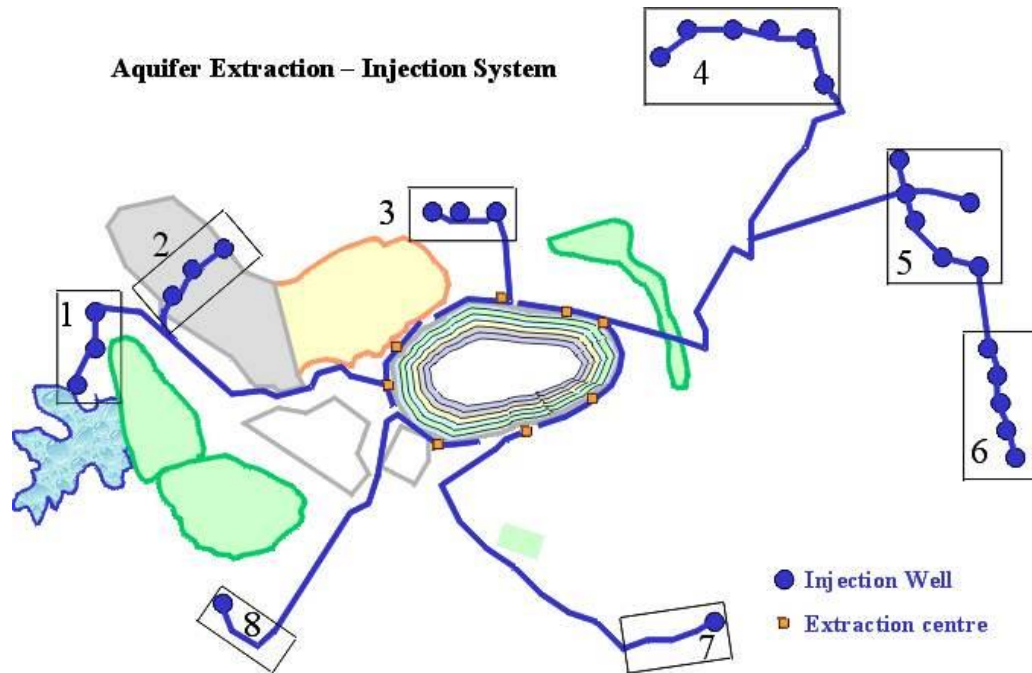
Gestión del Agua de Minas



Gestión del Agua de Minas

Sistema de drenaje - reinyección






Aquifer Extraction - Injection System

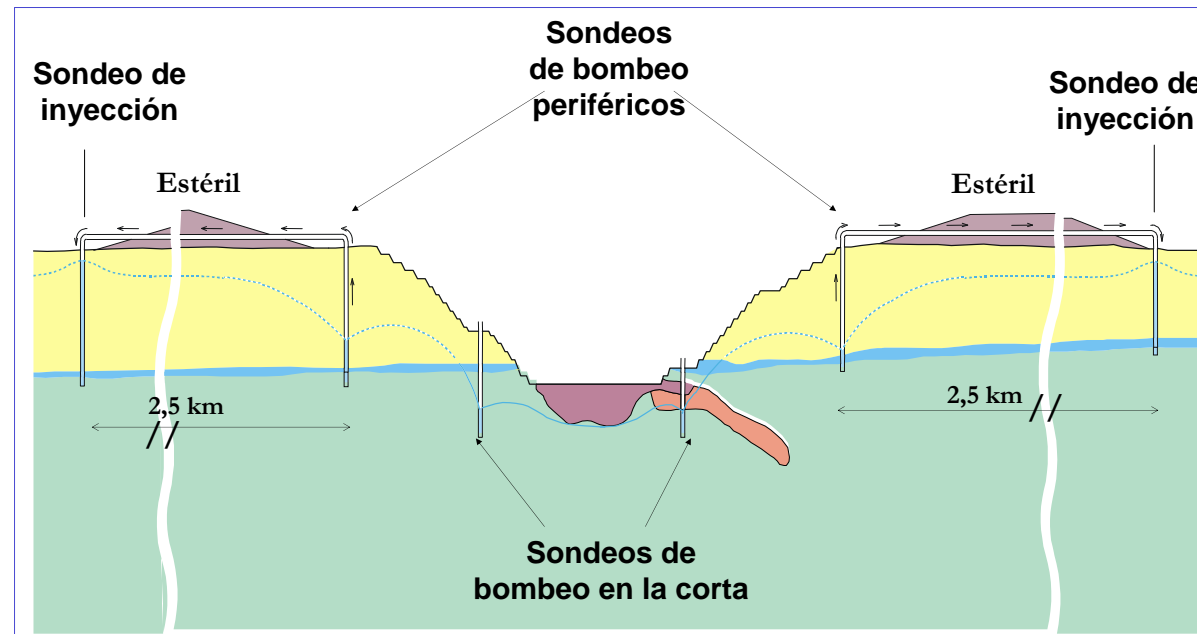


Gestión del Agua de Minas

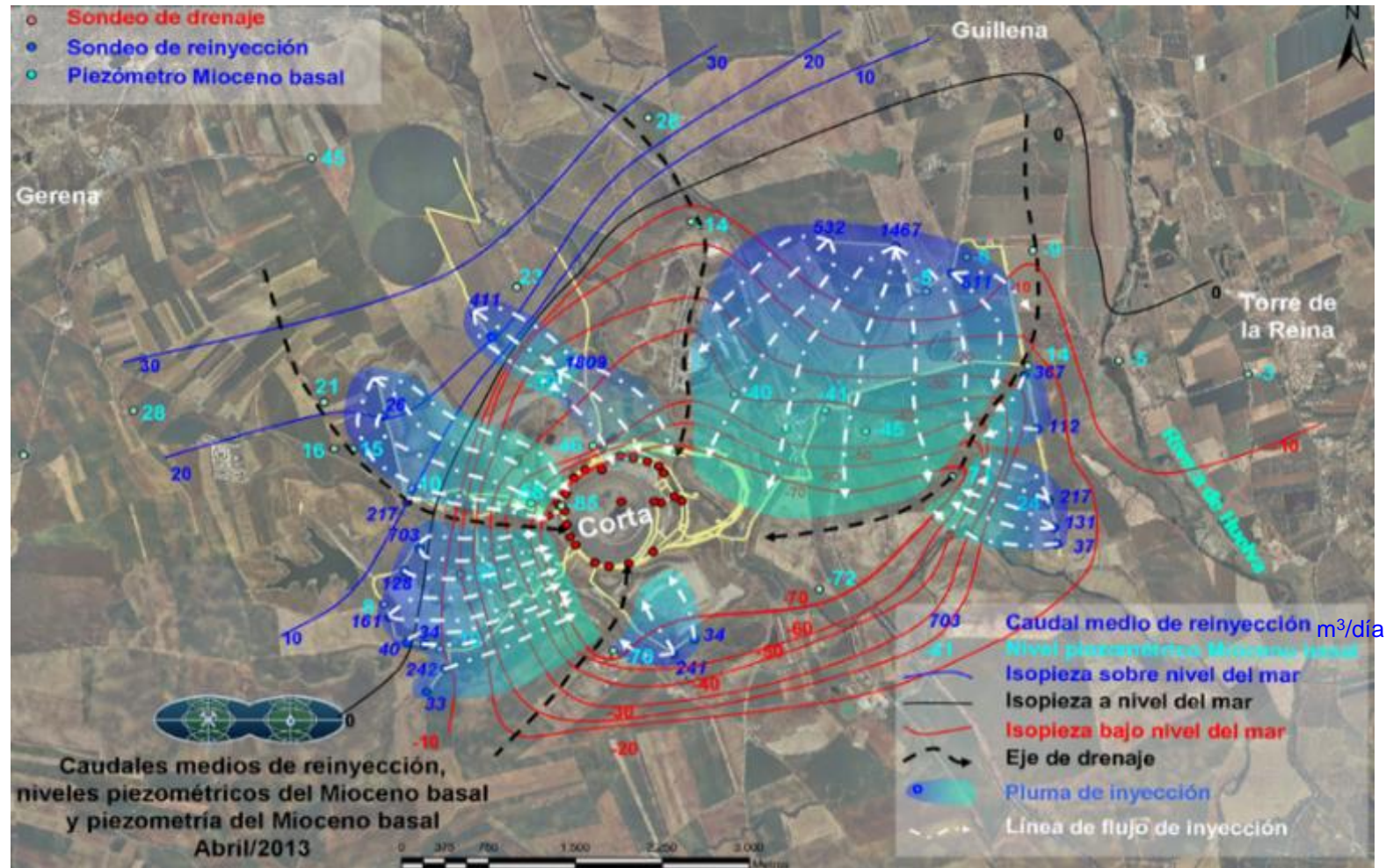


Sistema de Drenaje - Reinyección

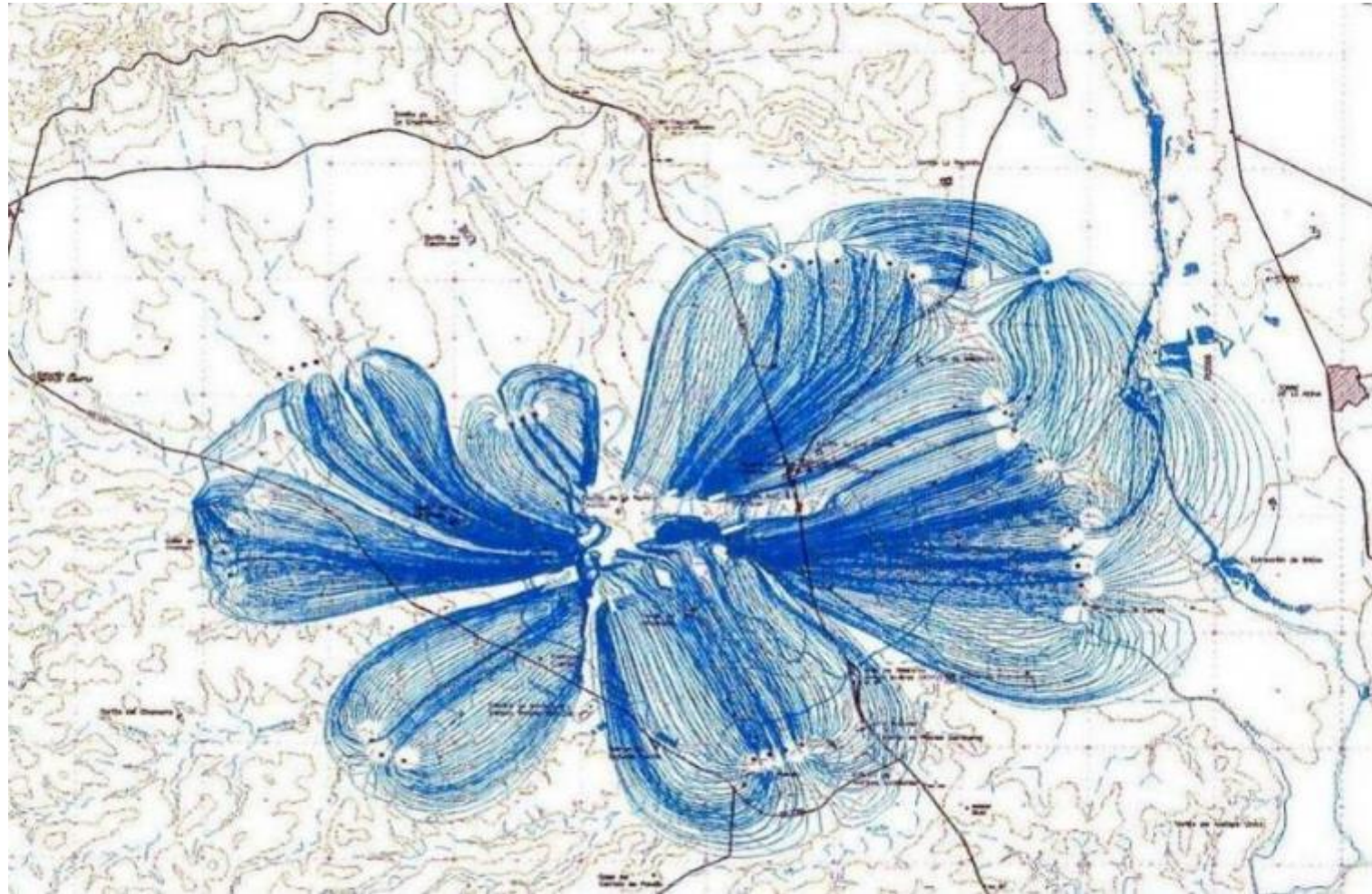
-  **Margas.**
-  **Acuífero.**
-  **Paleozoico.**
-  **Cuerpo de cobre secundario.**
-  **Mineralización primaria.**



Gestión del Agua de Minas



Gestión del Agua de Minas



Gestión del Agua de Minas

Instalación de tratamiento por ósmosis inversa



Gestión del Agua de Minas

**Mina de oro
Carlin Trend
Nevada (USA).**



**Drenaje Preventivo en Avance
mina a cielo abierto.**

**Drenaje mediante:
Sondeos perimetrales.
Sondeos en el interior de la corta.**

**Caudal bombeado:
3.670 litros/segundo.**

Gestión del Agua de Minas

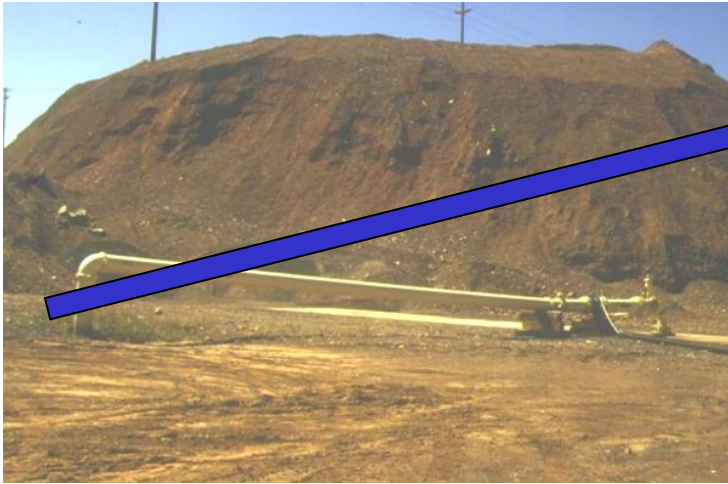
**Mina de oro
Carlin Trend
Nevada (USA).**



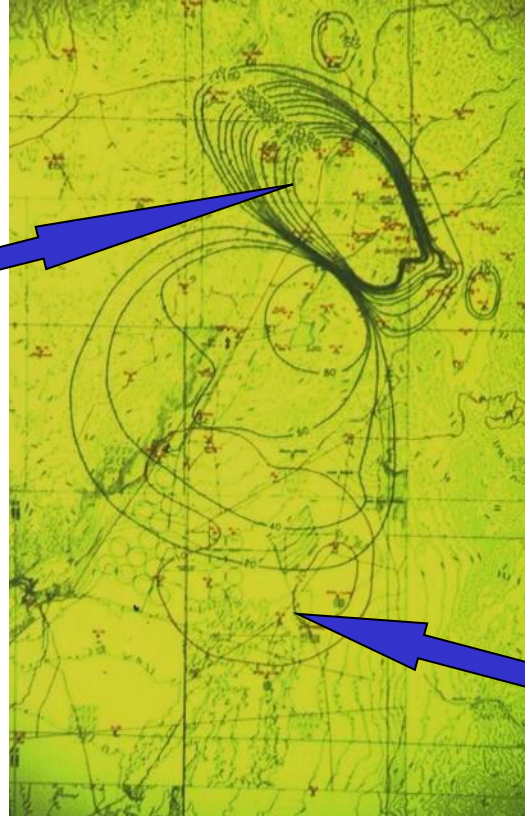
Utilización del agua bombeada:

- 5 % requerimientos de la mina.
- 10 % riego de 2.000 hectáreas (en aumento).
- 85 % reinyección a distancia en el acuífero:
 - Sondeos profundos.
 - Recarga a través de embalses de superficie.

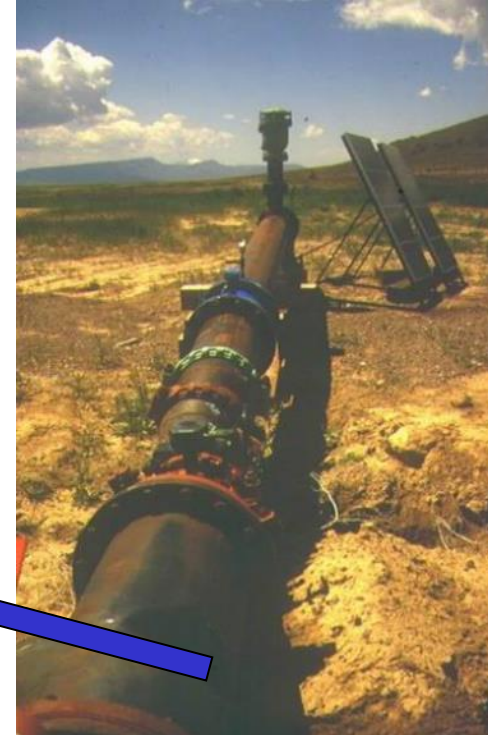
Gestión del Agua de Minas



Drenaje

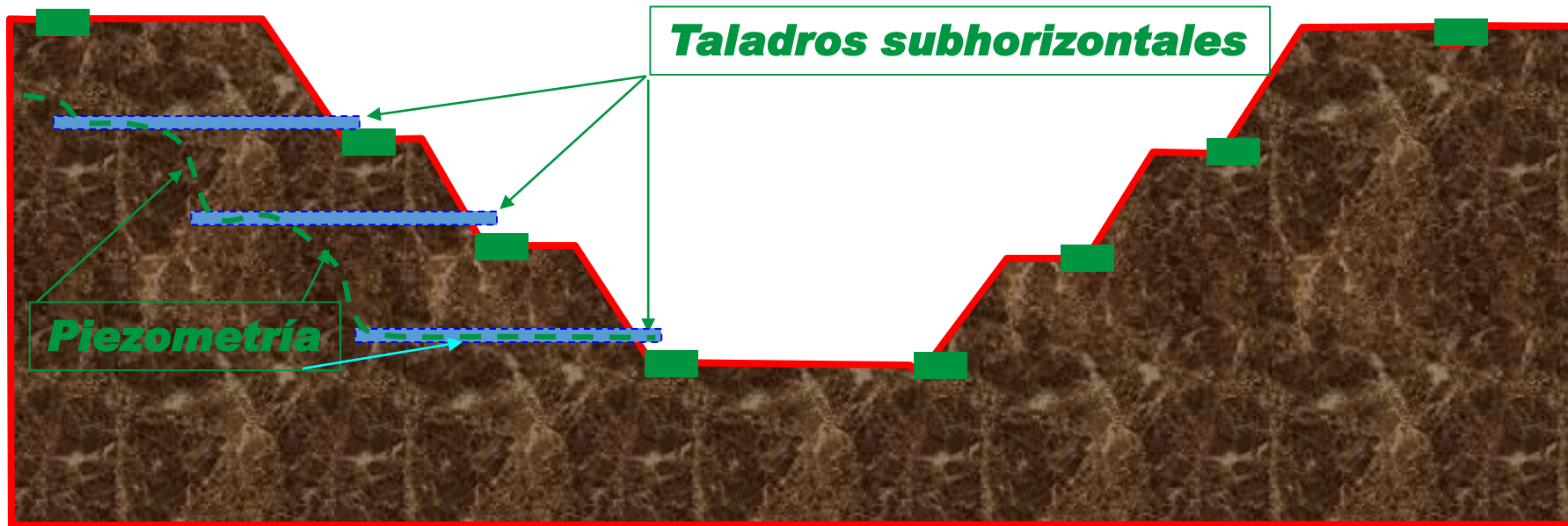


Reinyección



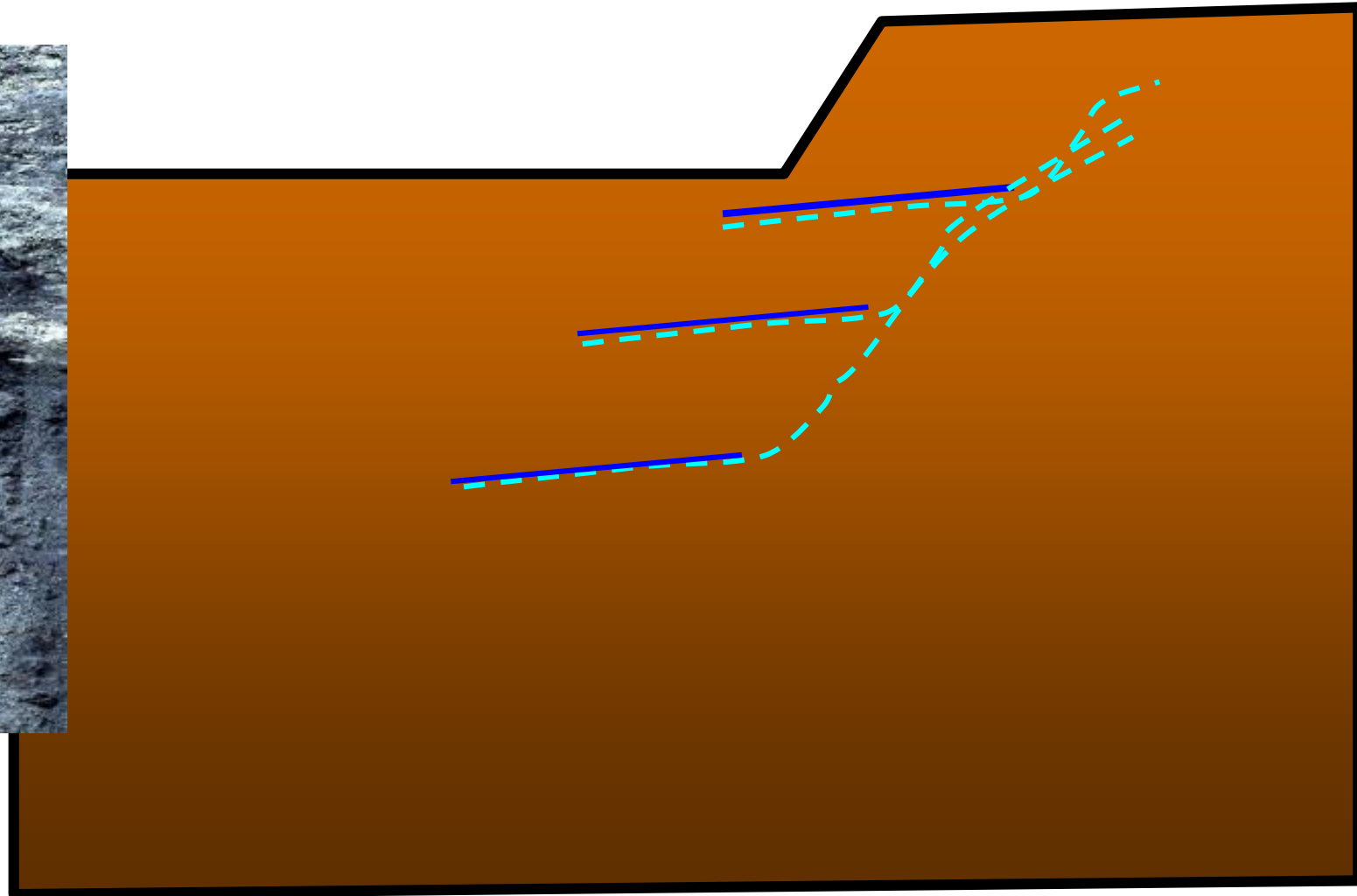
Gestión del Agua de Minas

Drenaje mediante taladros subhorizontales desde la corta



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Gestión del Agua de Minas



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Minas de Andorra, Teruel, España.

Gestión del Agua de Minas

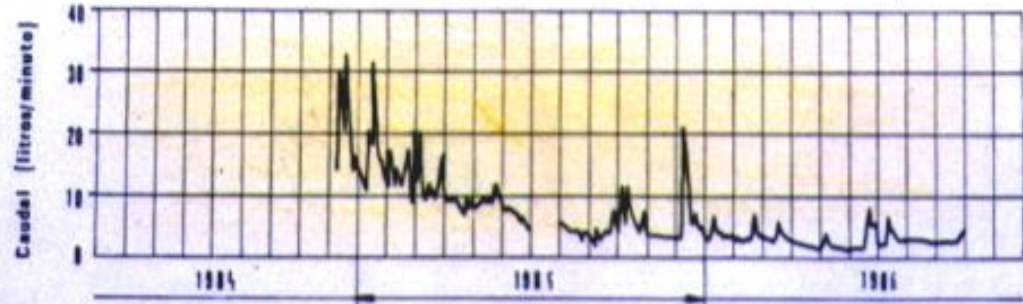


Fotos: Rafael Fernández Rubio.

Gestión del Agua de Minas

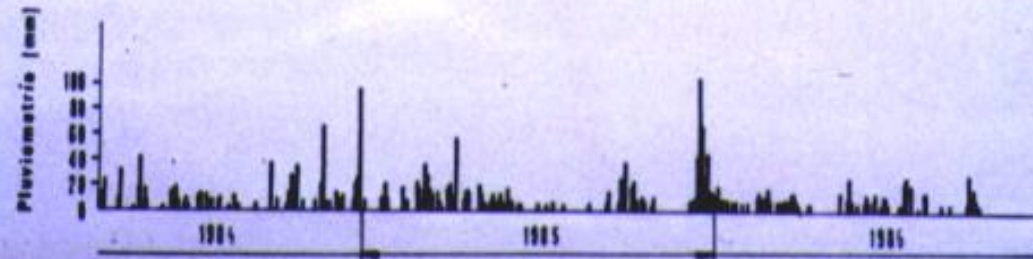


Caudal



DREN D9

Lluvia



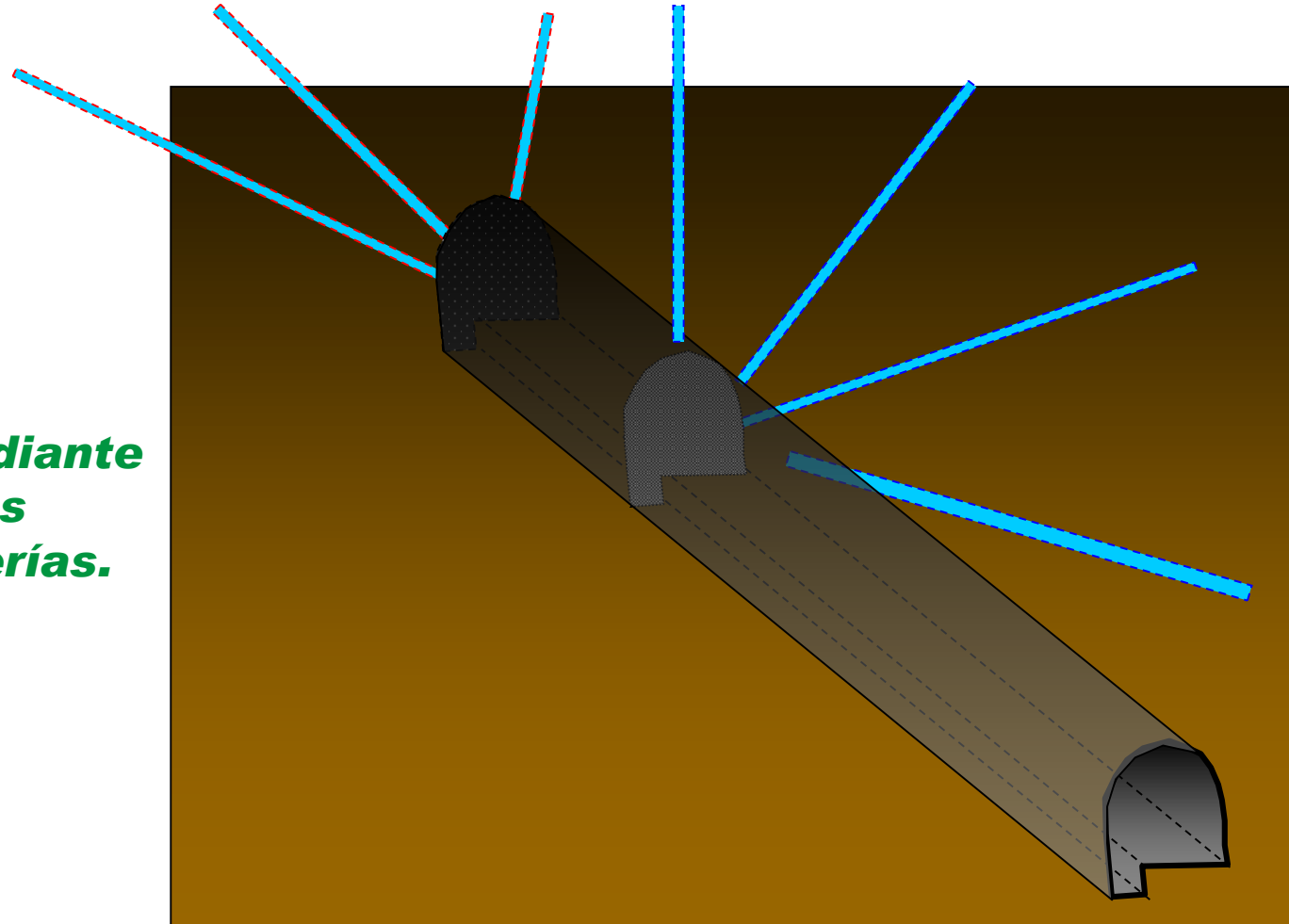
Tiempo

Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Mina As Pontes, Galicia, España.

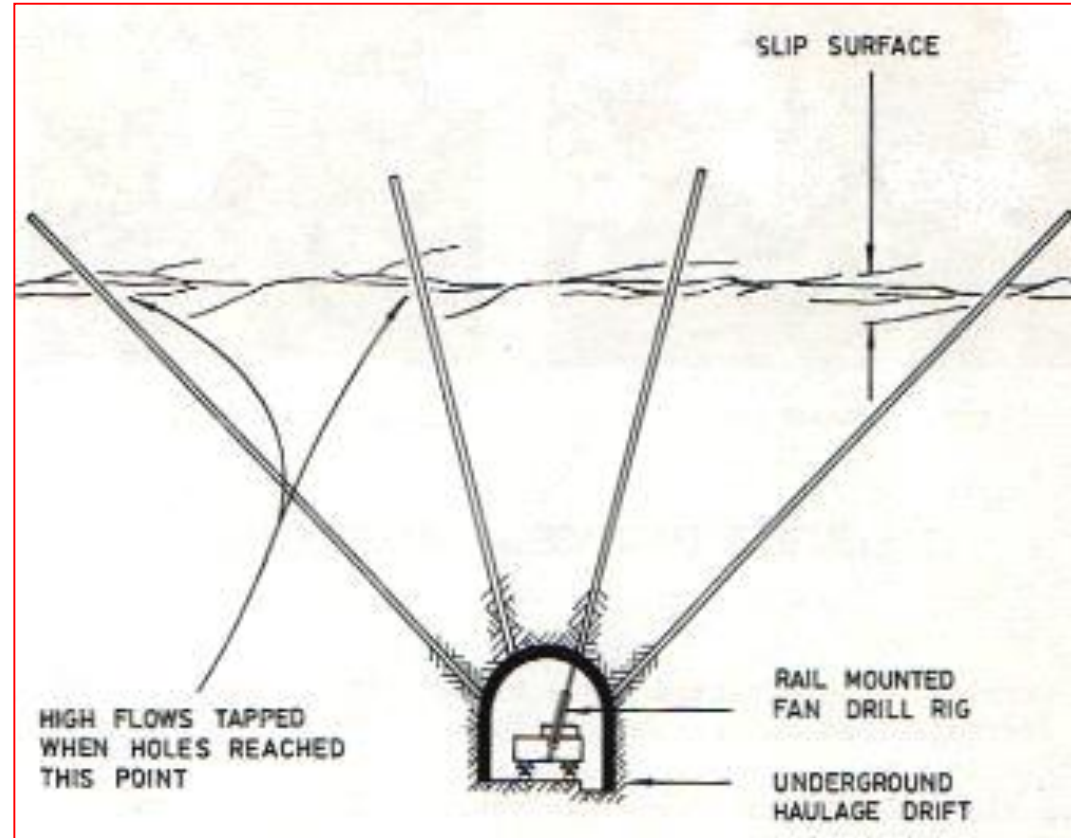
Gestión del Agua de Minas

**Drenaje mediante
taladros
desde galerías.**



Diseño: FRASA, Ingenieros Consultores.

Gestión del Agua de Minas

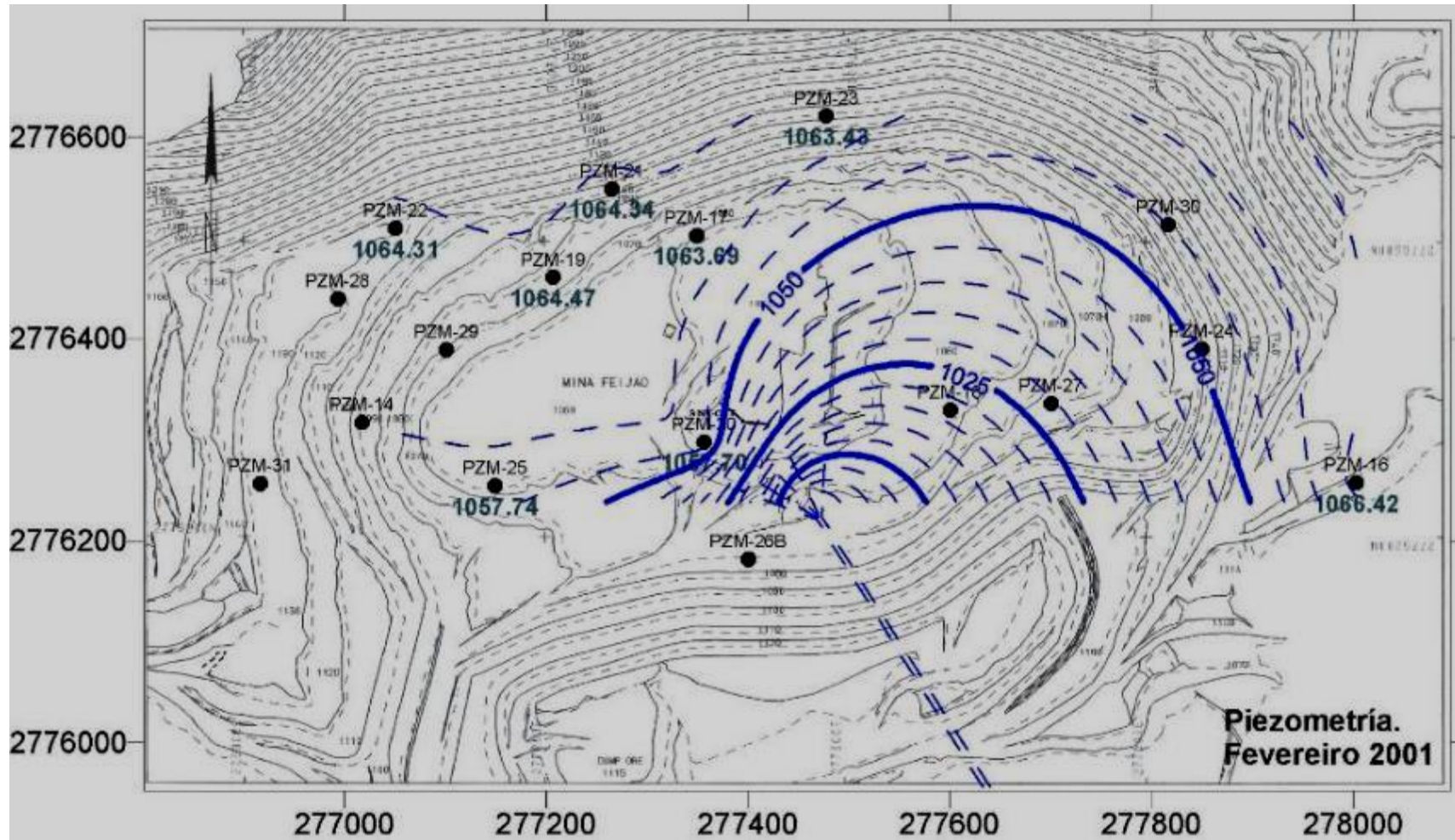


Mina de Córrego do Feijão, Minas Gerais, Brasil.

Gestión del Agua de Minas



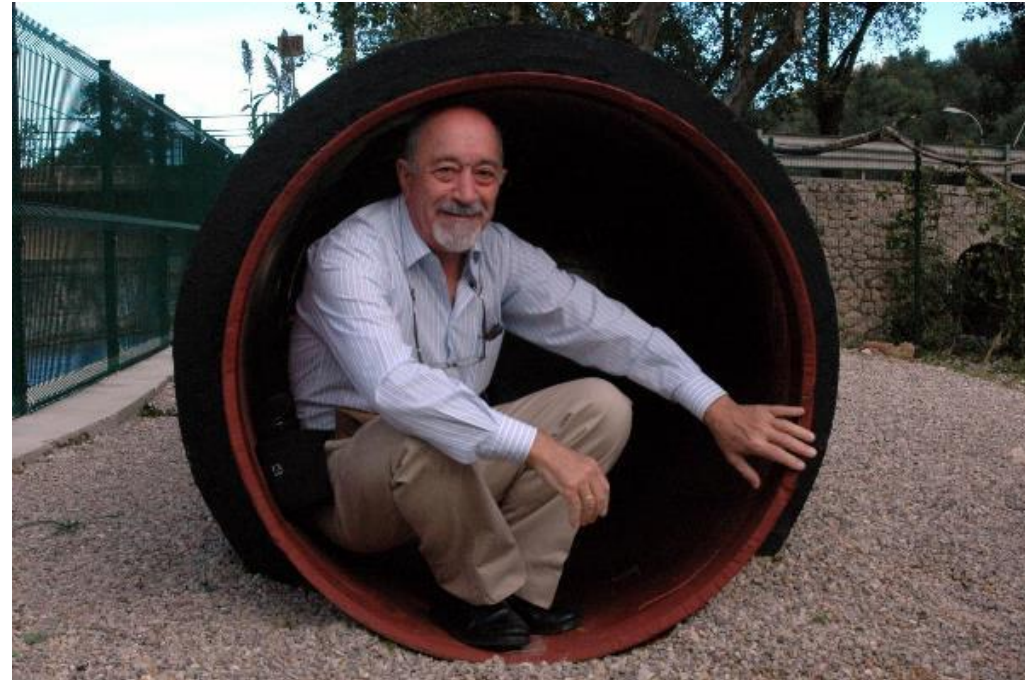
Gestión del Agua de Minas



Gestión del Agua de Minas



Muchas gracias



Rafael Fernández Rubio, Dr. Ingeniero de Minas.

Catedrático Emérito de Hidrogeología.

Escuela de Minas y Energía de Madrid.

Premio Rey Jaime I a la Protección del Medio Ambiente.



***Este documento sobre
El Agua en la Minería:
es propiedad de
Rafael Fernández Rubio***

***Para su difusión, parcial o total,
solicite autorización por escrito a:***

rfrubio@gmail.com



Gracias

