

Jornada Técnica

**EL AGUA EN LA
RECUPERACIÓN AMBIENTAL
DE LAS GRANDES EXPLOTACIONES
DE LIGNITO PARDO**



PONENCIAS

Madrid, 10 de Marzo de 2005

Jornada Técnica

**EL AGUA EN LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LAS
GRANDES EXPLOTACIONES DE LIGNITO PARDO**

ORGANIZADA POR

**Grupo Especializado del Agua de la
Asociación Nacional de Ingenieros de Minas**

COLABORADORES

**ENDESA Generación, S.A.
Lignitos de Meirama, S.A.
Instituto Geológico y Minero de España
Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas
Fundación Gómez Pardo**

Jornada Técnica

EL AGUA EN LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LAS GRANDES EXPLOTACIONES DE LIGNITO PARDO

PROGRAMA

09:30-10,00 h. ENTREGA DE DOCUMENTACIÓN.

10:00-10,30 h. INAUGURACIÓN.

1ª. SESIÓN: MODERADOR
D. José Félix Ibáñez Guerra.
Director General de Minería de Endesa.

10:30-11:15 h. CALIDAD DEL AGUA EN LOS LAGOS MINEROS.
Problemática de la acidificación, balances hidroquímicos y pronóstico de la calidad final.
Dª Petra Fleischhammel.
Instituto de Hidrología y Régimen de Aguas.
Universidad Técnica de Brandenburgo

11:15-11:30 h. CAFÉ

11:30-12,15 h. INFLUENCIA DE LA INUNDACIÓN DE LA CORTA DE MEIRAMA SOBRE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES.
D. Ricardo Laín Huerta.
Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid.

12:15-13,00 h. EL AGUA EN LA ESCOMBRERA EXTERIOR DE LA MINA DE AS PONTES.
D. Francisco Aréchaga Rodríguez.
Director de la Explotación de Lignito Pardo de As Pontes.

13:00-13,30 h. COLOQUIO

13:30-16,30 h. TIEMPO LIBRE

2ª SESIÓN: MODERADOR
D. Miguel Ángel Arias Arias
Director General de Lignitos de Meirana.

16:30-17:30 h. CIERRE TÉCNICO DE LA MINA DE MEIRAMA
D. Angel Merino González.
Jefe de Mina de Meirama

17:30-18:30 h. EL LAGO MINERO DE AS PONTES. UN SISTEMA HÍDRICO AUTOSOSTENIBLE.

D. Francisco Rivas Ródenas.

Director Técnico de la Dr. Gral. de Minería de Endesa.

18:30-19,00 h. COLOQUIO.

19,00 h. CLAUSURA

COPA DE DESPEDIDA

INAUGURACIÓN:

- **Ilmo. Juan Antonio López Geta.**
Presidente del Grupo Especializado del Agua.
- **D. Carlos Martínez Díaz.**
Subdirector de la Fundación Gómez Pardo.
- **D. José María Pernía Llera.**
Coordinador de la Jornada.

CLAUSURA:

- **Ilmo. José Pedro Calvo Sorando.**
Director General del Instituto Geológico y Minero de España.
- **Ilmo. José Manuel Álvarez-Campana Gallo.**
Director General de Evaluación y Calidad Ambiental. Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia.
- **Ilmo. Alfonso Maldonado Zamora.**
Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- **D. José María Pernía Llera.**
Coordinador de la Jornada.

Evolución de la calidad del agua en lagos finales mineros

Fundamentos, Metodología, Pronóstico

Petra Fleischhammel, Universidad técnica de Brandenburgo en Cottbus,
Instituto de Hidrología y régimen de aguas



El agua en la recuperación ambiental de las grandes explotaciones de lignito pardo
Madrid, 10 de marzo de 2005

Disposición de la ponencia

- Ciclo hidrológico y acidificación de las aguas – causas técnicas y regionales
- Metodología para el pronóstico de evolución de la calidad de lagos finales mineros
- Resultados (ejemplos)
- Procesos técnicos/tecnológicos para la mejora de la calidad del agua
- Conclusiones

Efectos sobre el ciclo hidrológico regional (datos: situación 1992)

cono de depresión de
las aguas subterráneas

2.100 km²

déficit hídrico regional
de ello:

13 Mrd. m³

- volumen de poros
- lagos finales

8,5 Mrd. m³

4,5 Mrd. m³

superficie afectada por la minería:
de ello:

760 km²

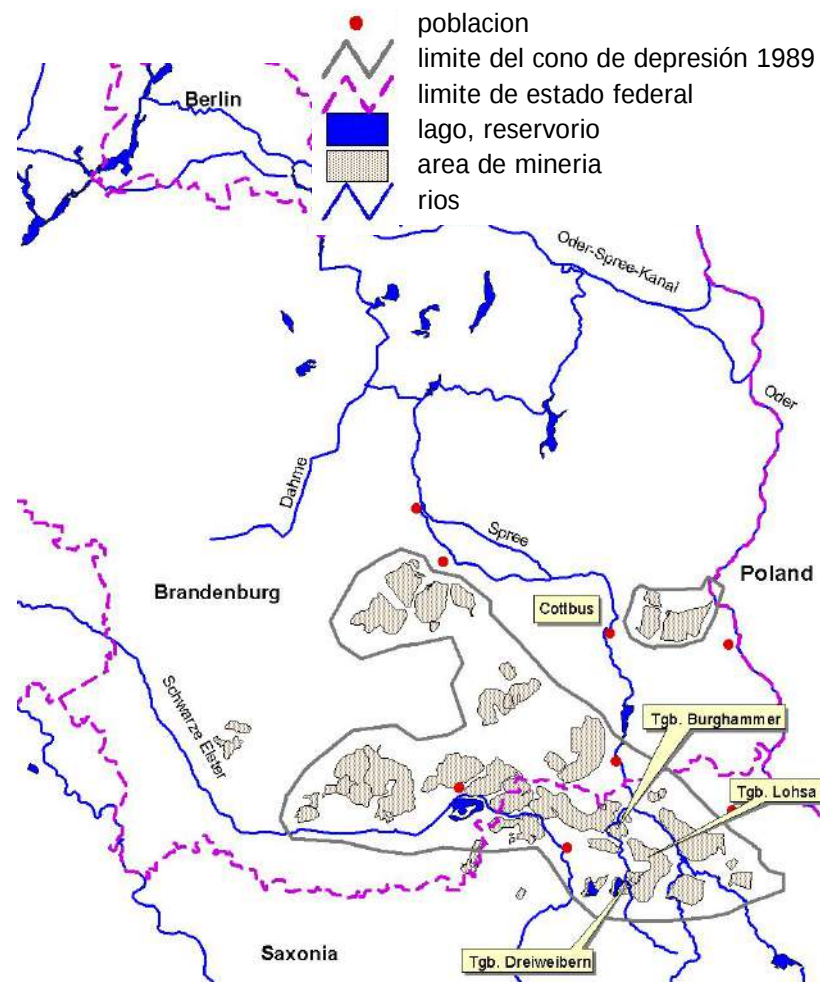
- escombreras
- lagos finales

550 km²

210 km²

cuencas hidrográficas afectadas:

- río Spree
- río Schwarze Elster
- río Neiße



Repercusión del bombeo de aguas (esquemático)

Relación entre los ciclos hidrológicos de aguas subterráneas en cuencas mineras (esquemático)

a) Situación previa a la explotación minera

Equilibrio entre las aguas subterráneas y aguas superficiales

b) Situación durante la explotación minera

Descenso del nivel freático

Pérdidas por infiltración

La oferta de aguas superficiales

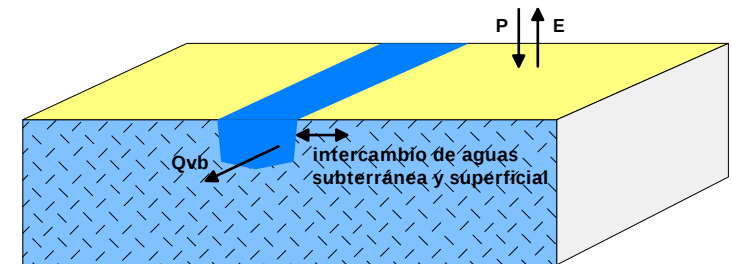
c) Situación posterior a la explotación minera

Ascenso del nivel freático

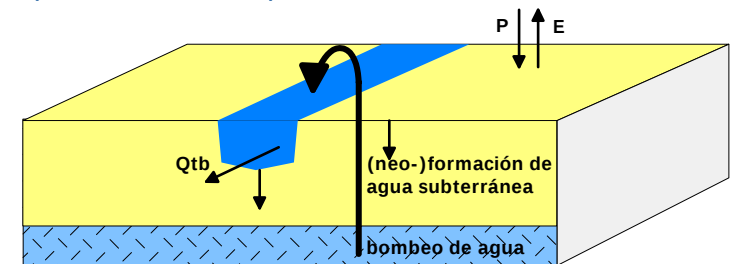
Pérdidas por infiltración

Muy escasa oferta de aguas superficiales

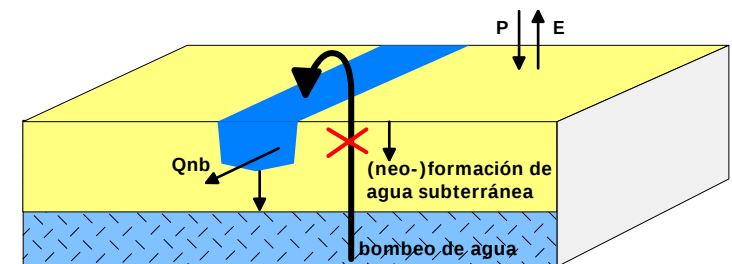
a) situación previa a la explotación minera



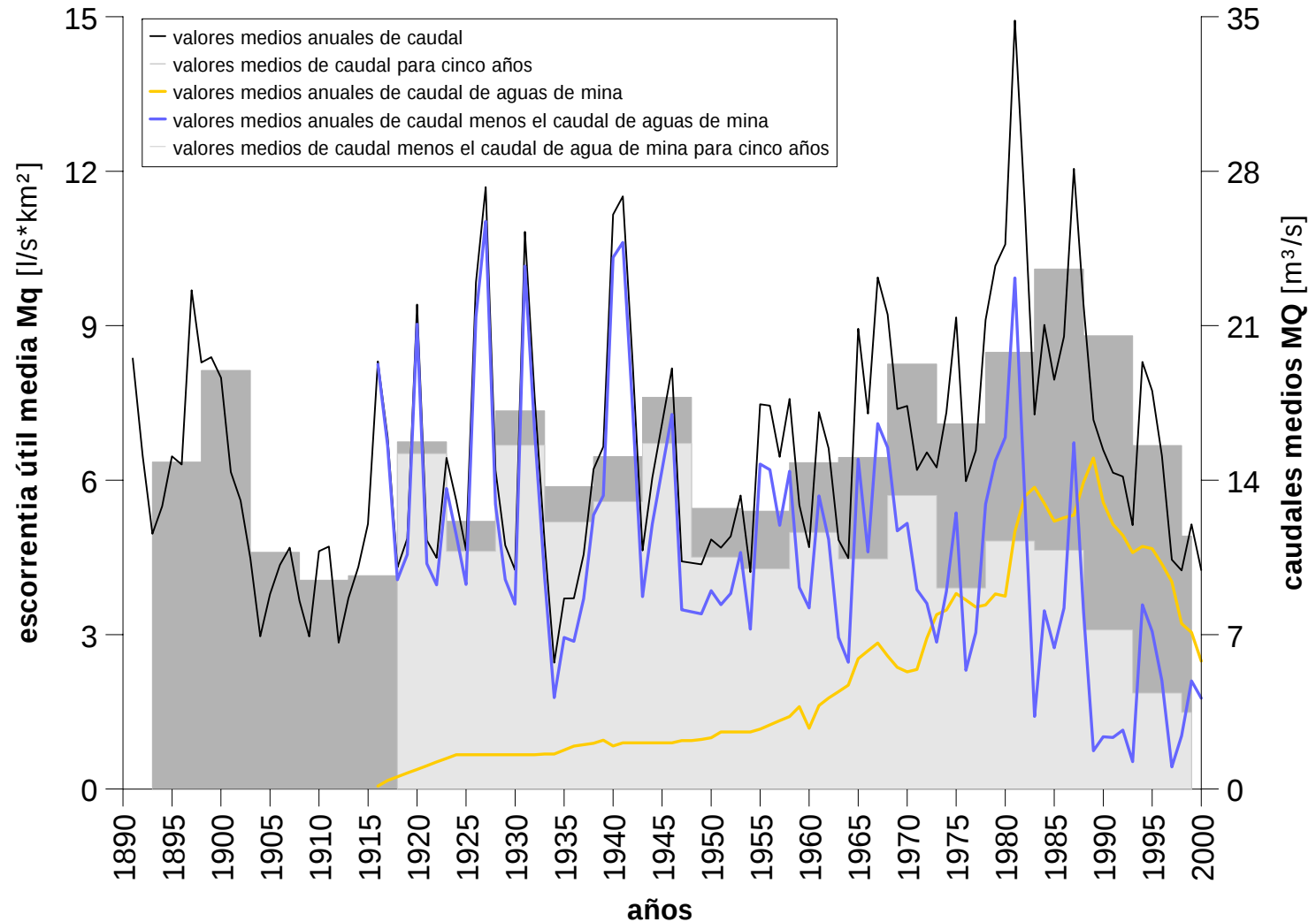
b) situación durante la explotación minera



c) situación posterior a la explotación minera

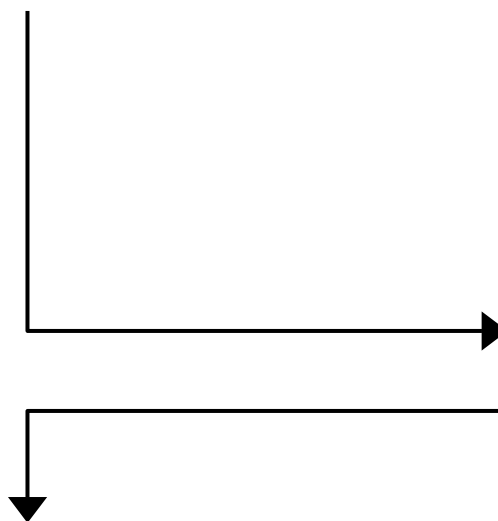


Hidrograma estación de medida Cottbus (1900 - 2010)

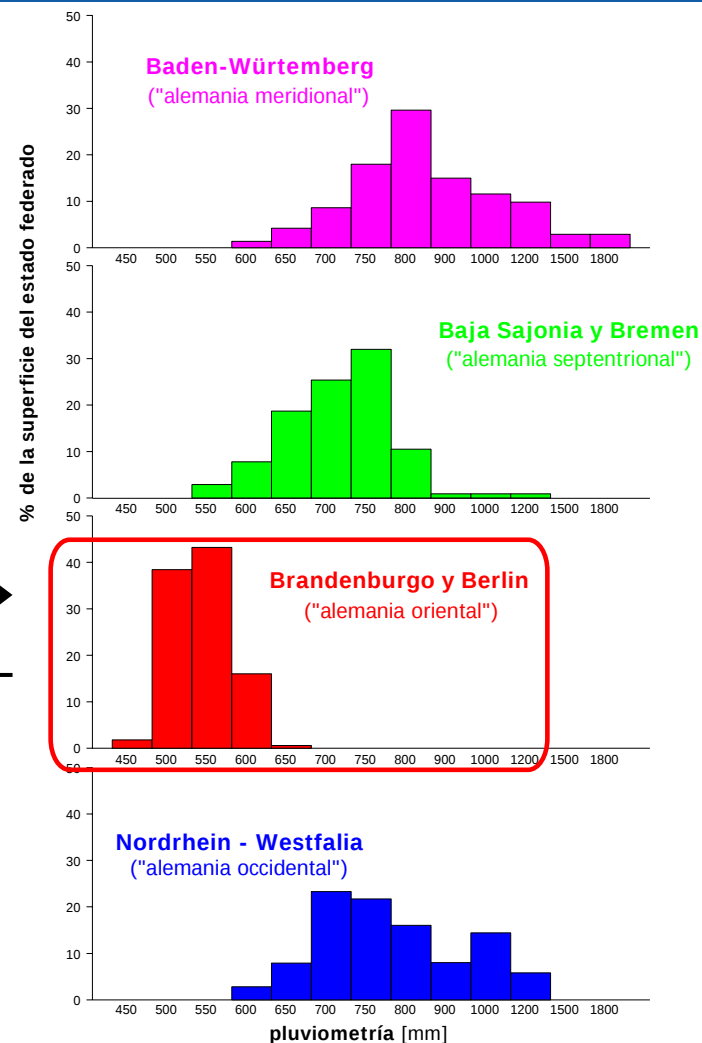


Condicionantes hidrológicas del entorno

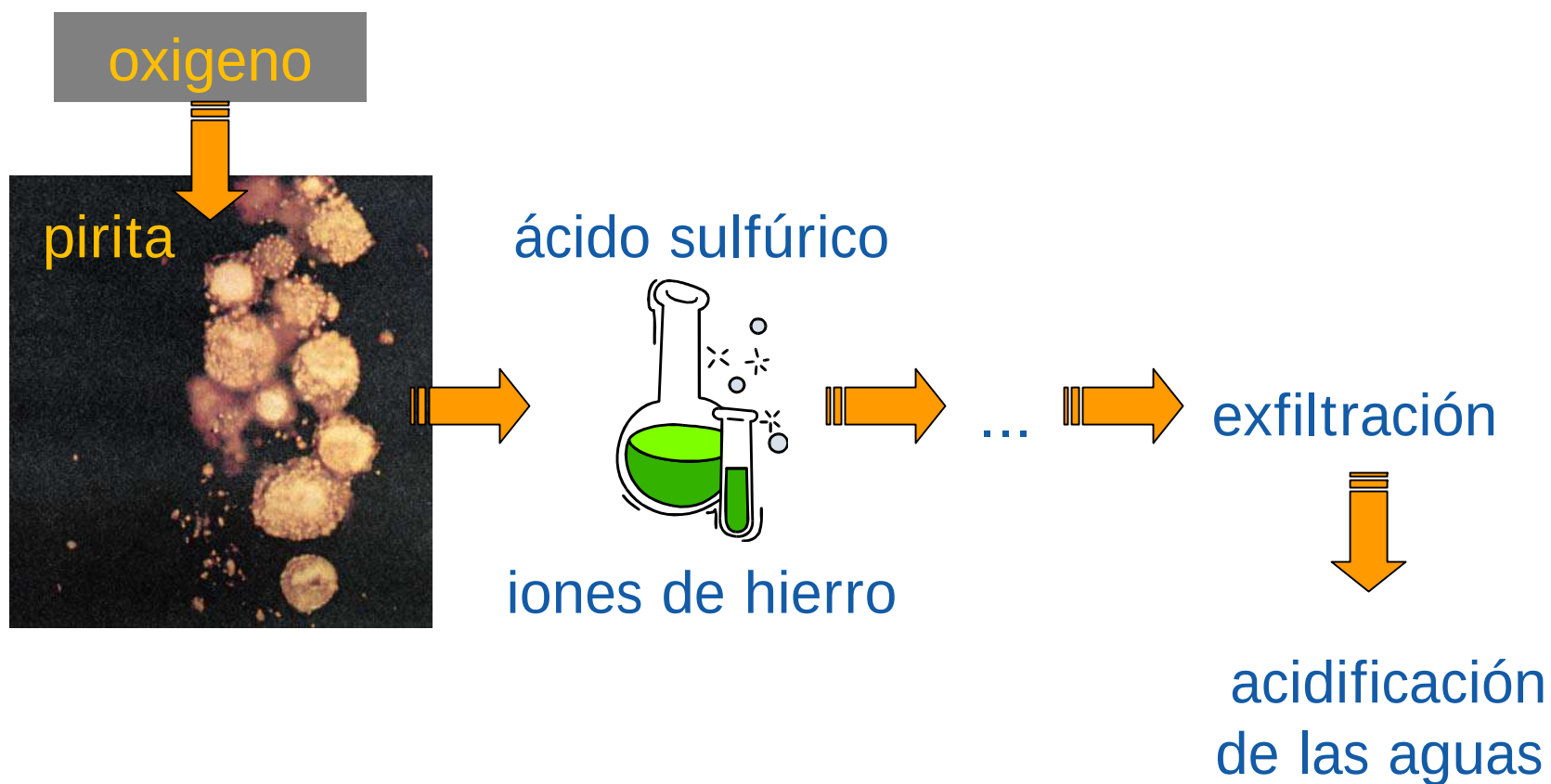
Distribución de las precipitaciones medias anuales en los estados federados seleccionados



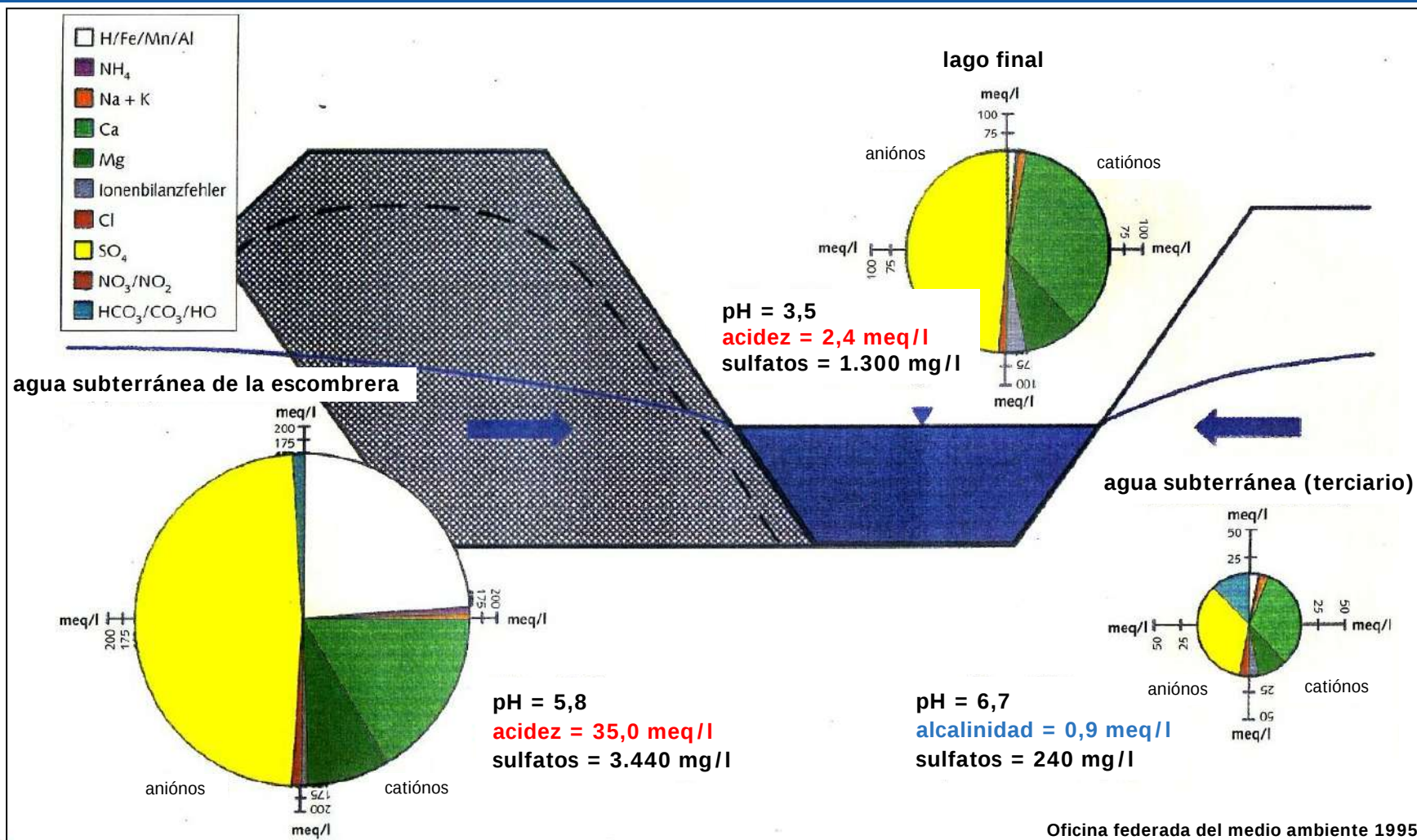
Déficit hídrico extremo unido a una muy baja disponibilidad hídrica



Problemática de la calidad I - Causas

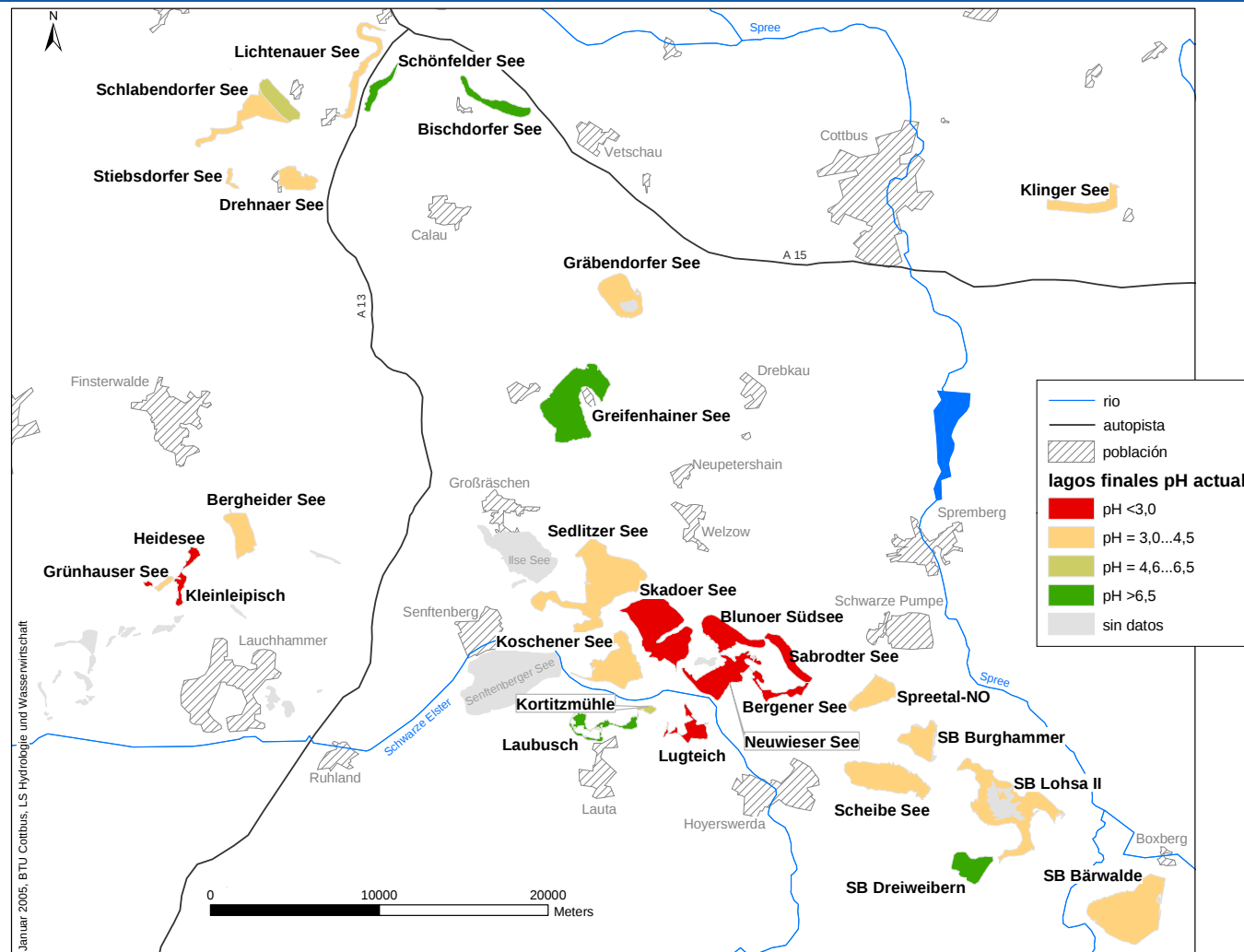


Problemática de la calidad II - Esquema

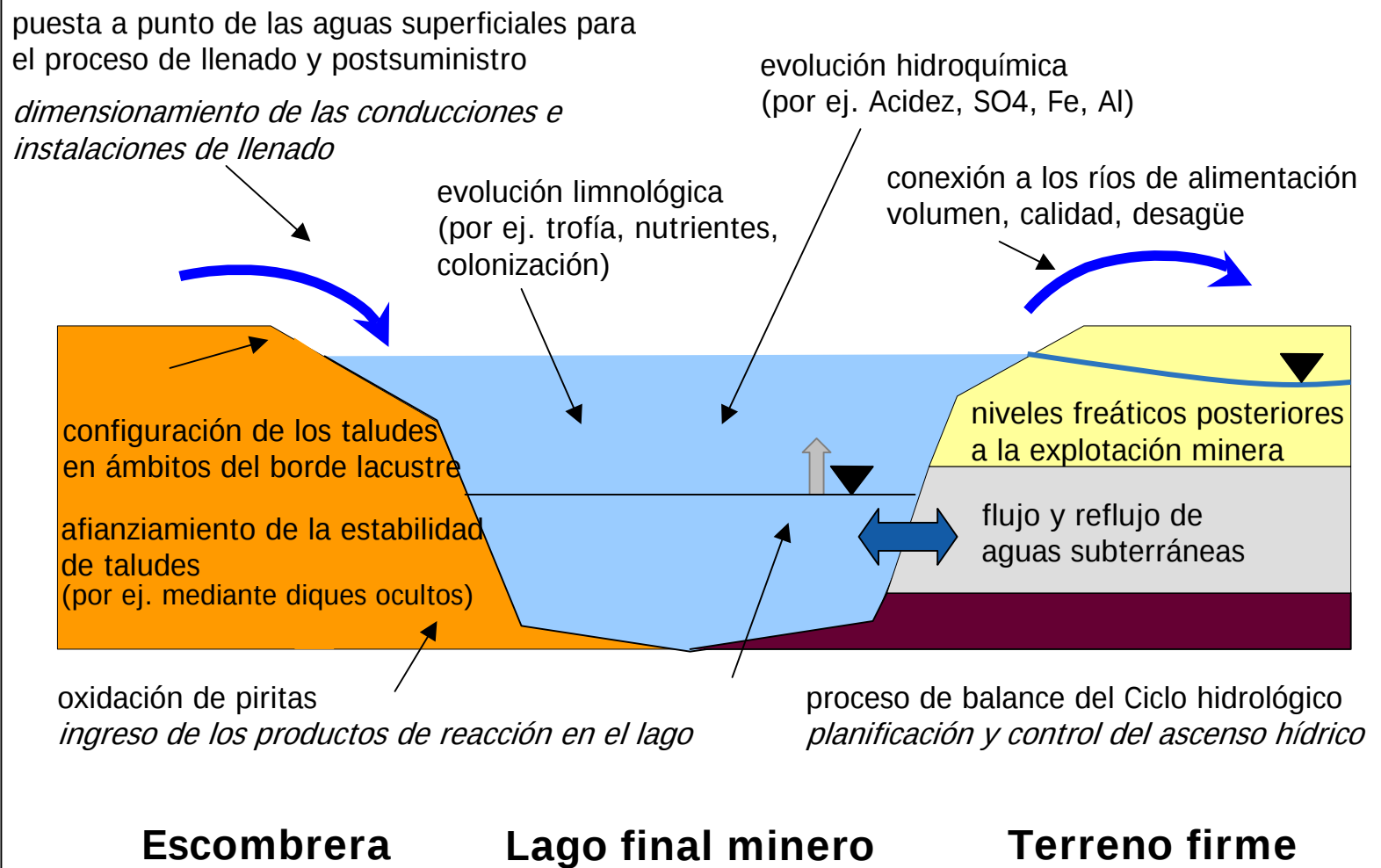


Oficina federada del medio ambiente 1995

Calidad del agua en diversos lagos finales mineros en Lusatia (Situación finales 2004)



Planteamiento en relación con la configuración del lago final



Opciones para el saneamiento de aguas de mina

- Elemento **primordial** para el saneamiento del ciclo hidrológico es el **proceso** sistemático de **llenado** de lagos finales mineros mediante **aguas superficiales**.
- **Adicionalmente** hay que tener en cuenta **procesos tecnológicos establecidos** para el **tratamiento** de **aguas de mina**.
- **Procesos alternativos** técnicos/tecnológicos han sido y **son** actualmente **ensayados**.

Proceso de llenado con aguas ajenas

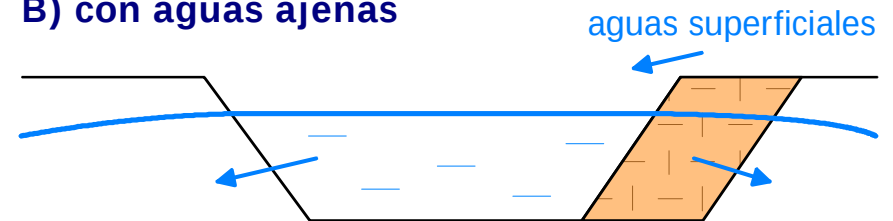
Efectos del proceso de llenado del lago final de mina con aguas ajenas:

- Modificación de los gradientes entre aguas subterráneas y el lago
Contención de las aguas ácidas de escombrera
- Dilución
- Neutralización parcial
- Estabilización de los sistemas de taludes

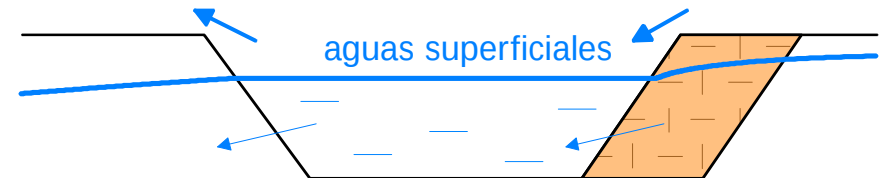
A) sin aguas ajenas



B) con aguas ajenas

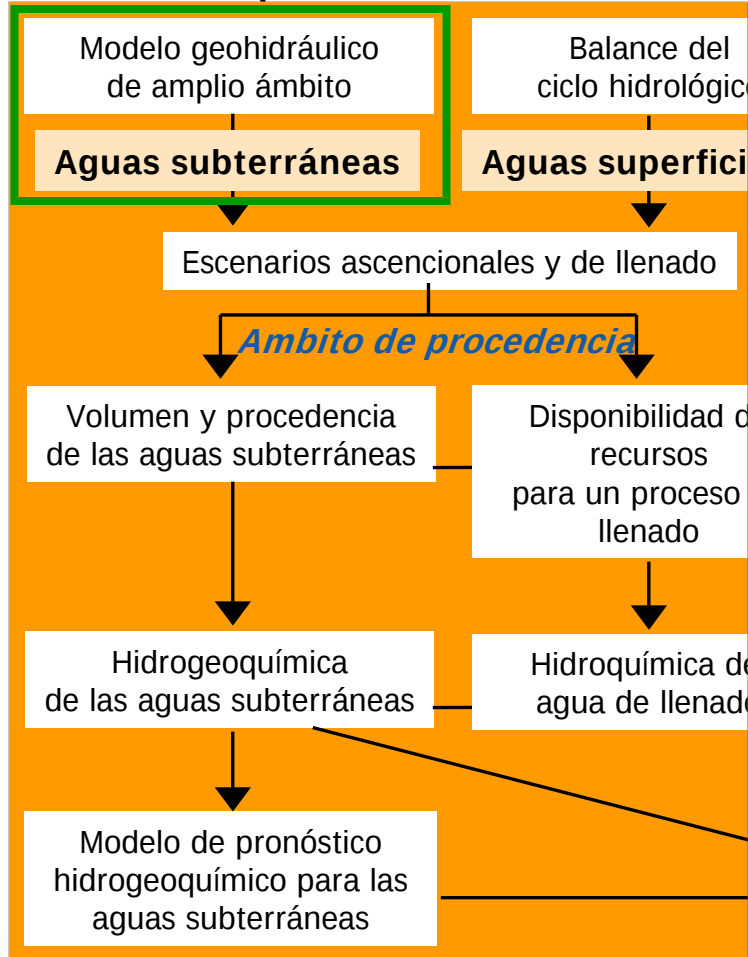


C) estado final estacionario

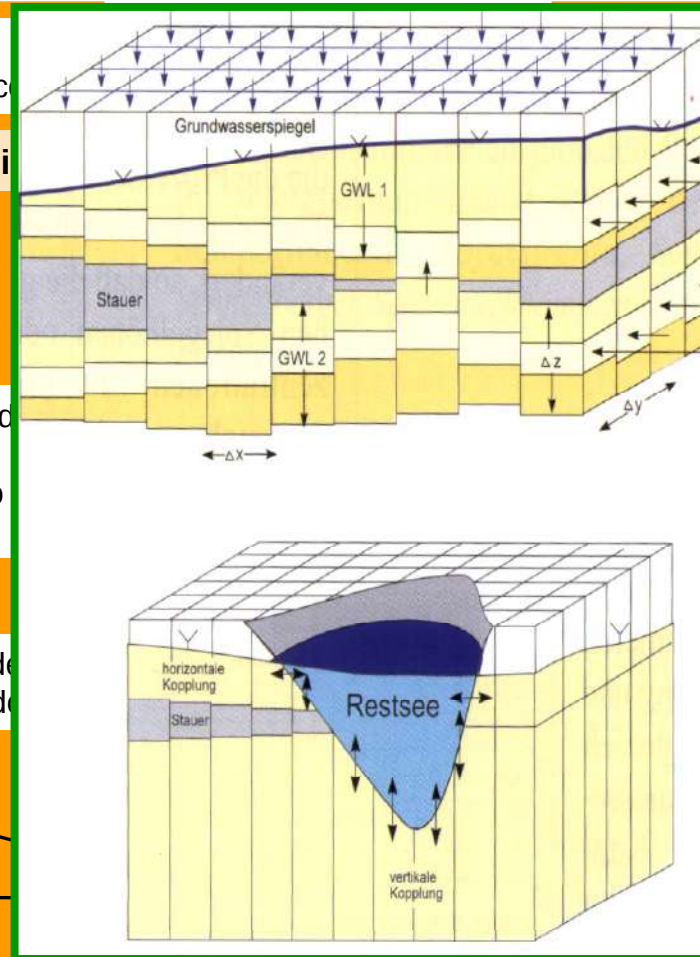


Metodología del pronóstico de calidad

Cuenca de aportación



Mina a cielo abierto



Final/escombrera

de transformación

ría del hueco final

$f(h)$
 $f(h)$
 $f(h)$

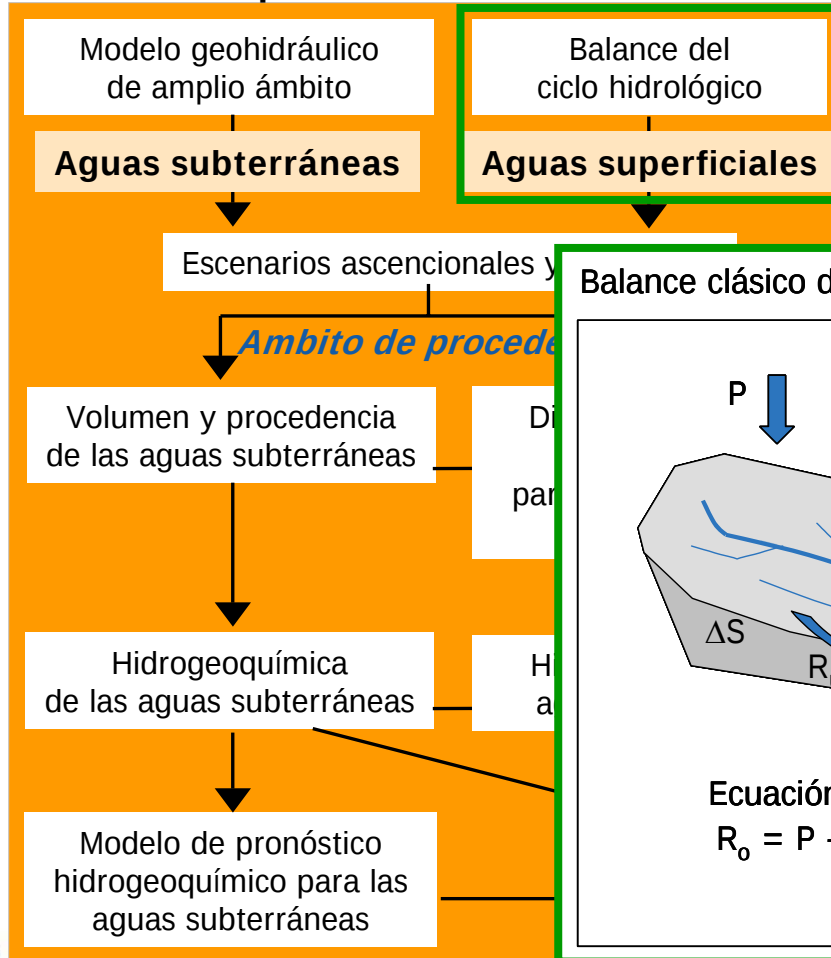
ímica del ambito
 transformación

tenido de solubles
 eso de ácidos
 acidad neutralizante

Fuente: modificado según LUA 1995

Metodología del pronóstico de calidad

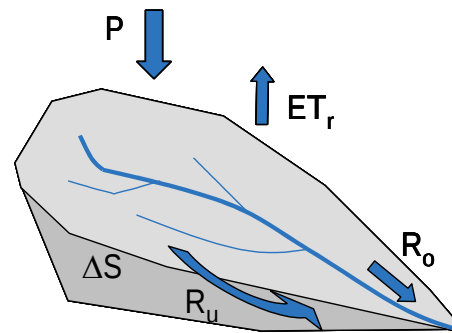
Cuenca de aportación



Mina a cielo abierto

Hueco final/escombrera

Balance clásico del ciclo hidrológico

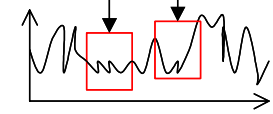


Ecuación de balance

$$R_o = P - ET_r \pm \Delta S$$

Simulación estocástica de escorrentías

Análisis de hidrogramas

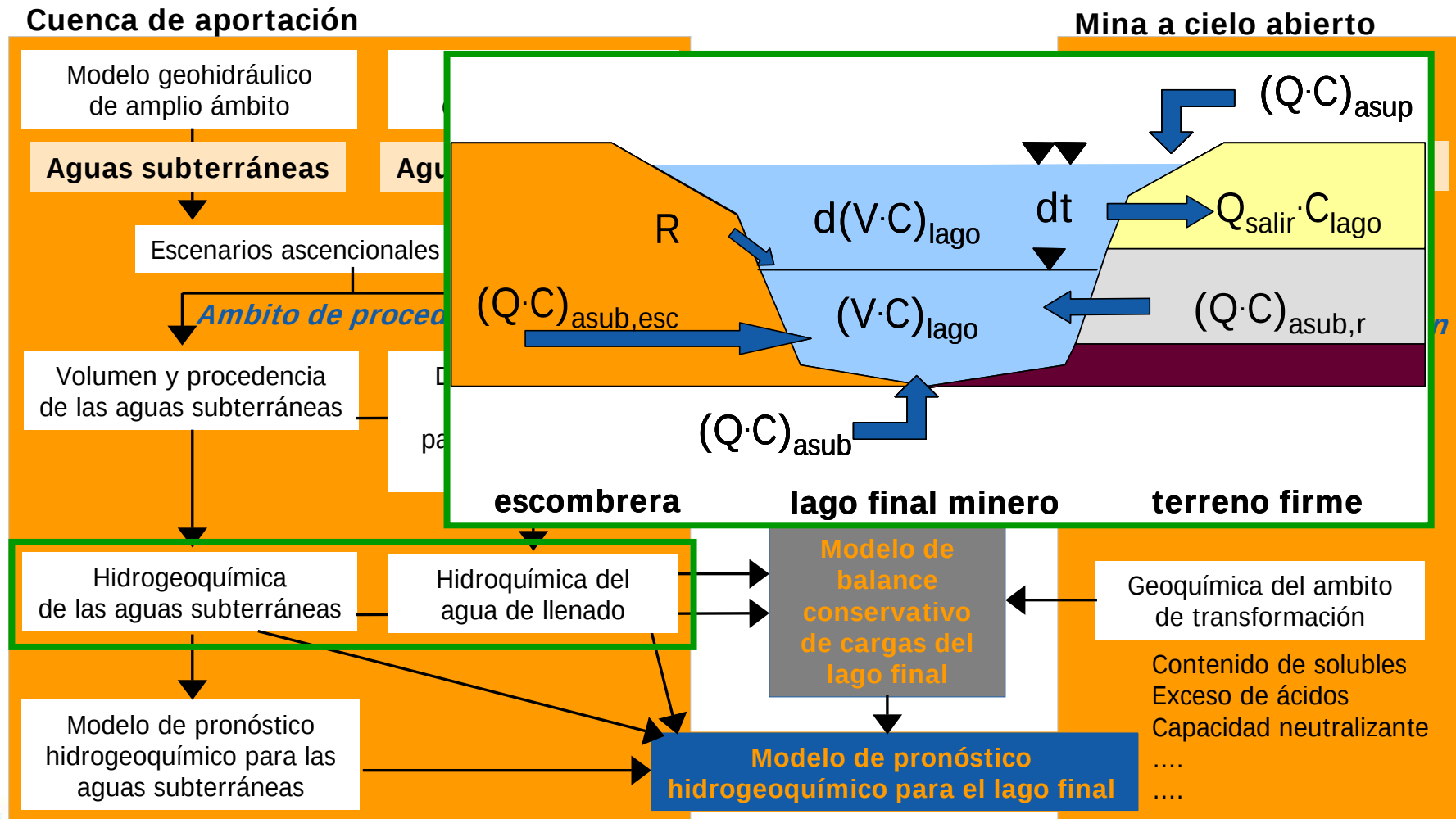


Simulación determinística de los procesos de aprovechamiento, normas de gestión, influencias de la minería, normas jerárquicas

Análisis estadístico por ej. certeza de la provisión de aguas, caudales mínimos de escorrentía

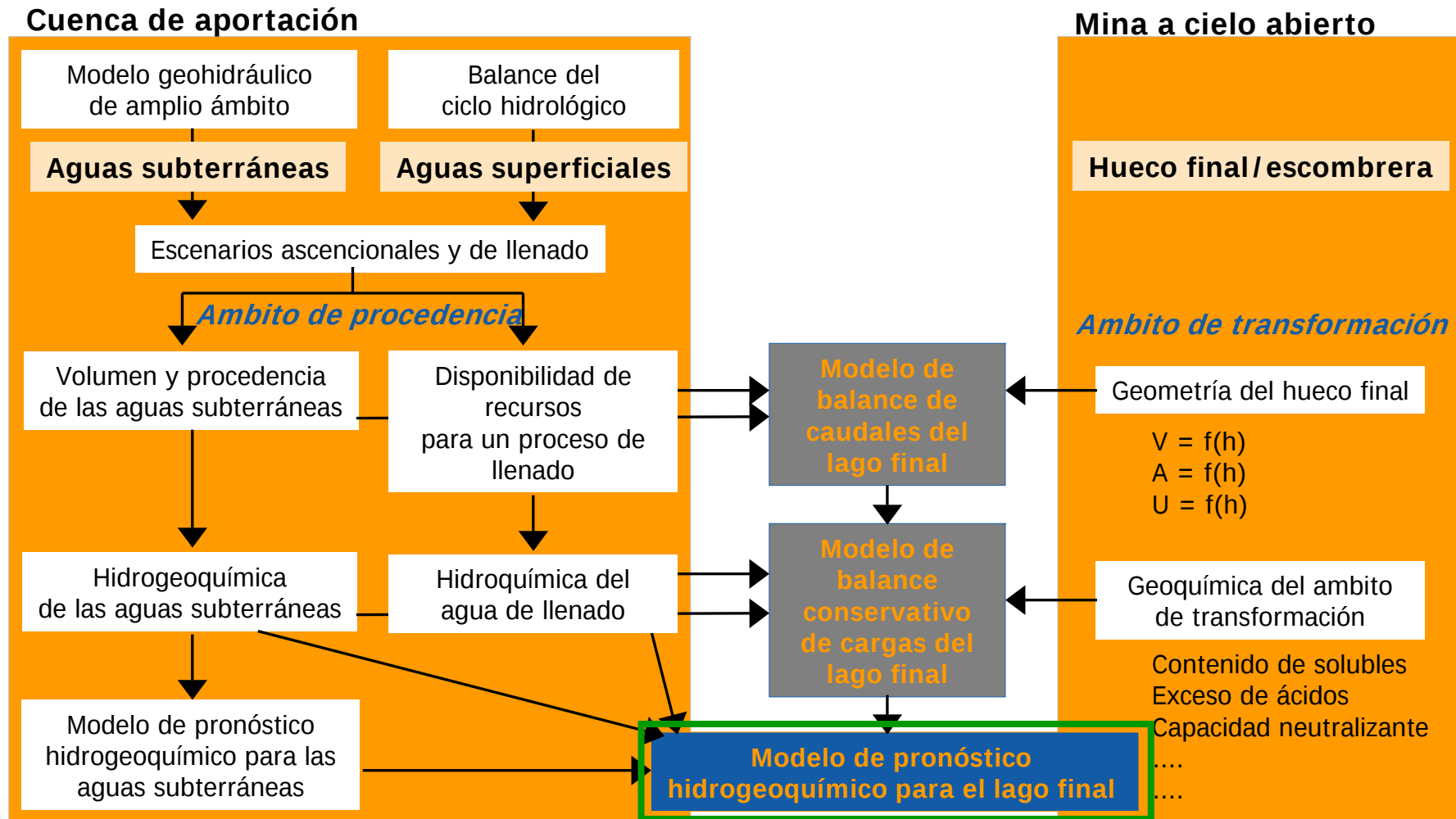
Fuente: modificado según LUA 1995

Metodología del pronóstico de calidad



Fuente: modificado según LUA 1995

Metodología del pronóstico de calidad

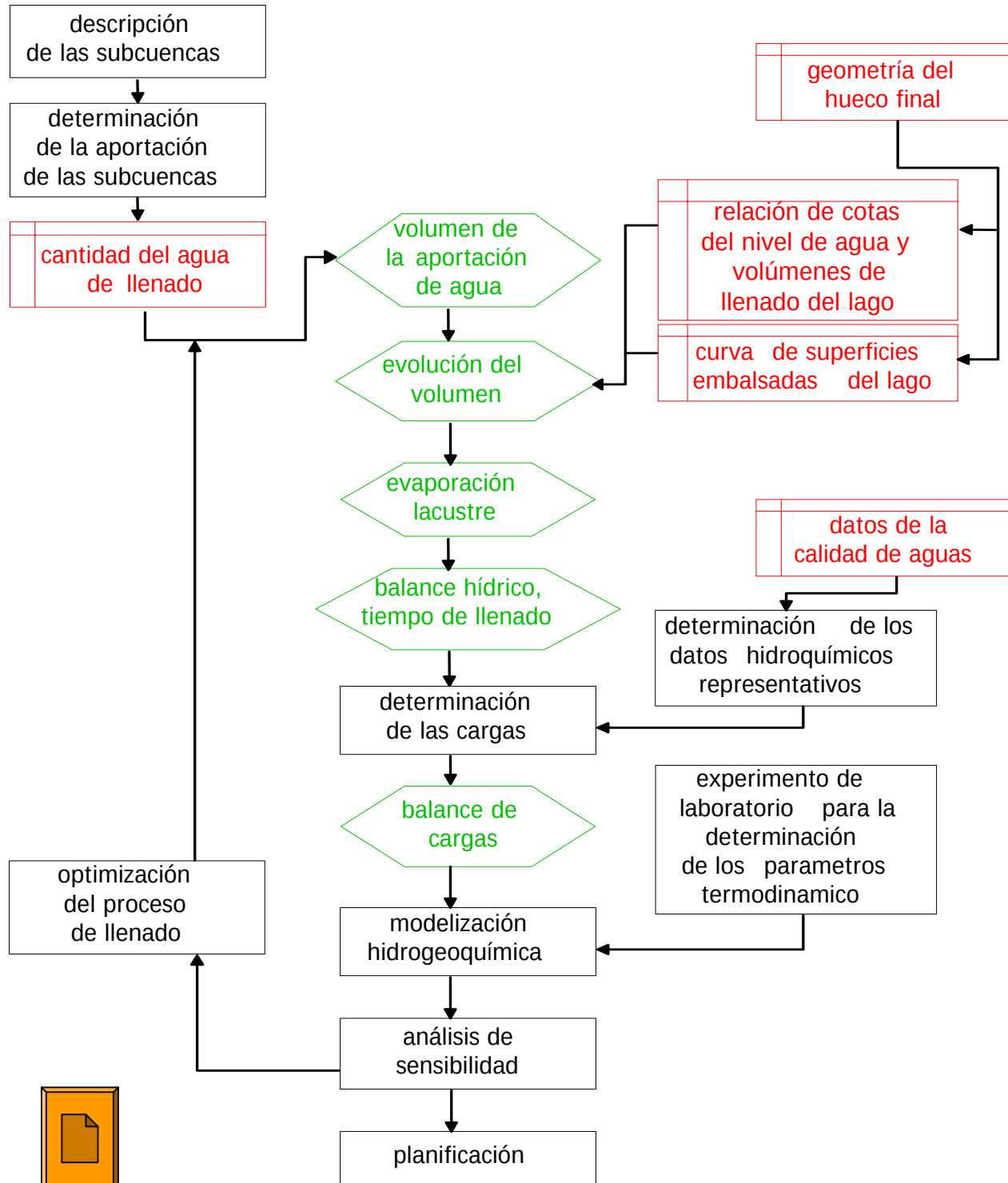


Fuente: modificado según LUA 1995



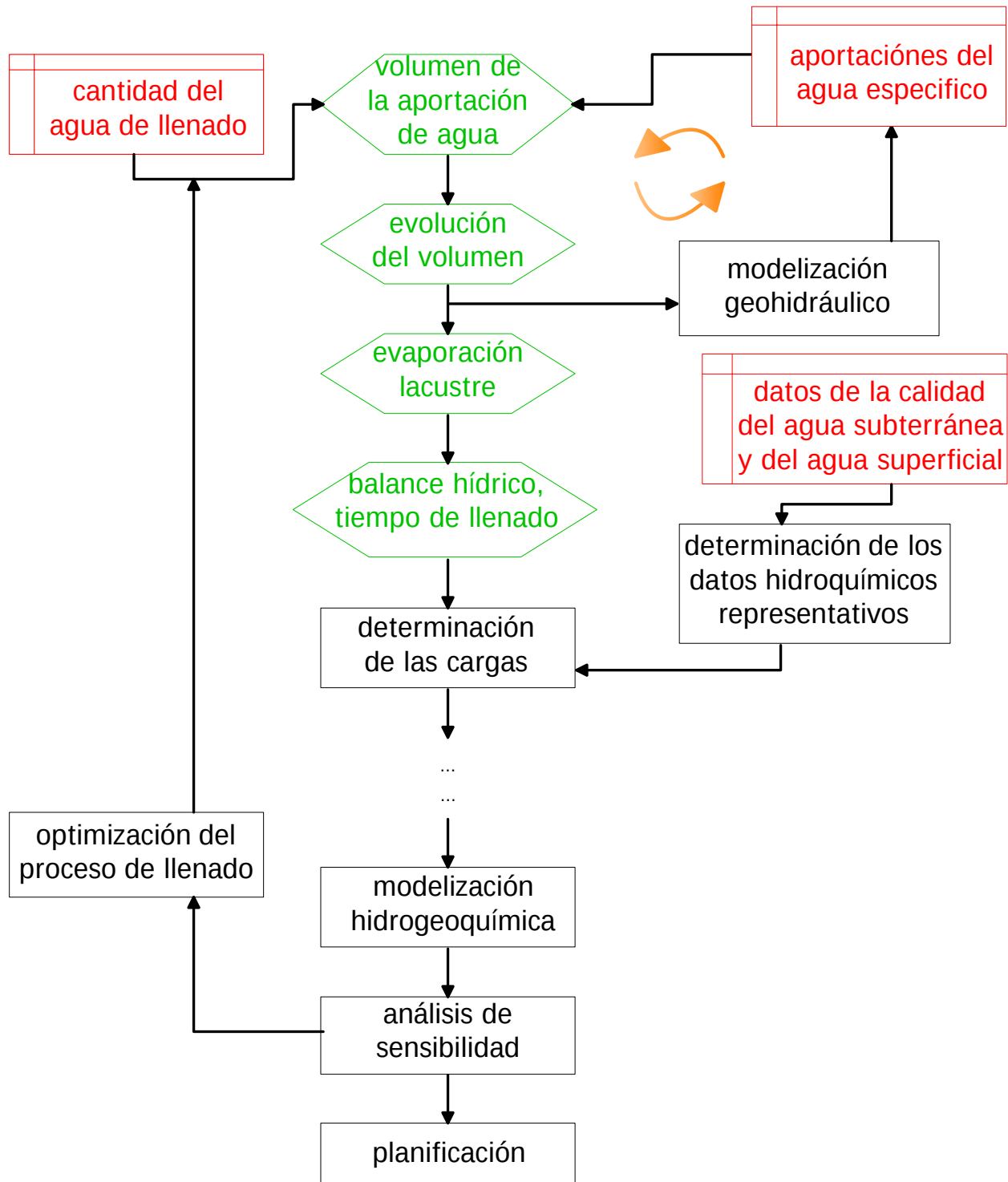
Planos de trabajo

(sin considerando de flujos de aguas subterráneas)



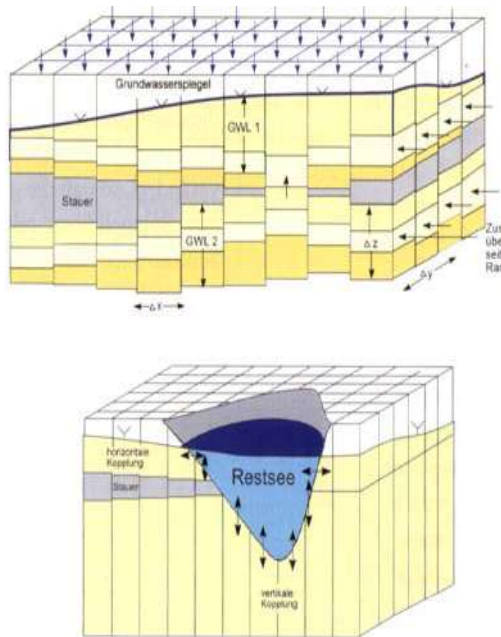
Planos de trabajo adicionales

(considerando los flujos de agua subterránea)

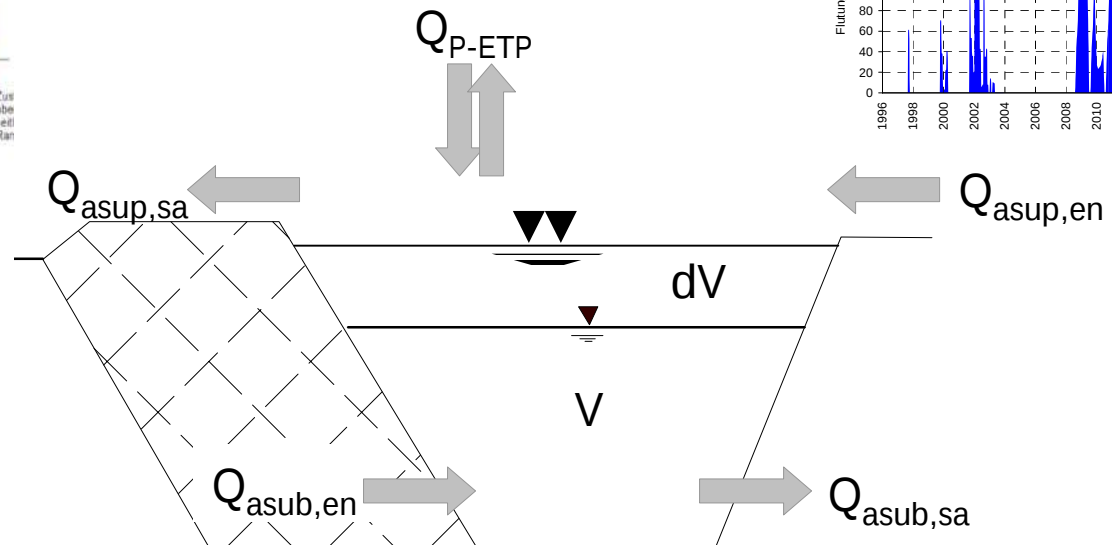
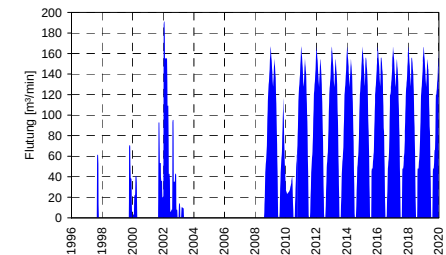


Modelo de pronóstico – balance del ciclo hidrológico

modelo de geohidráulico

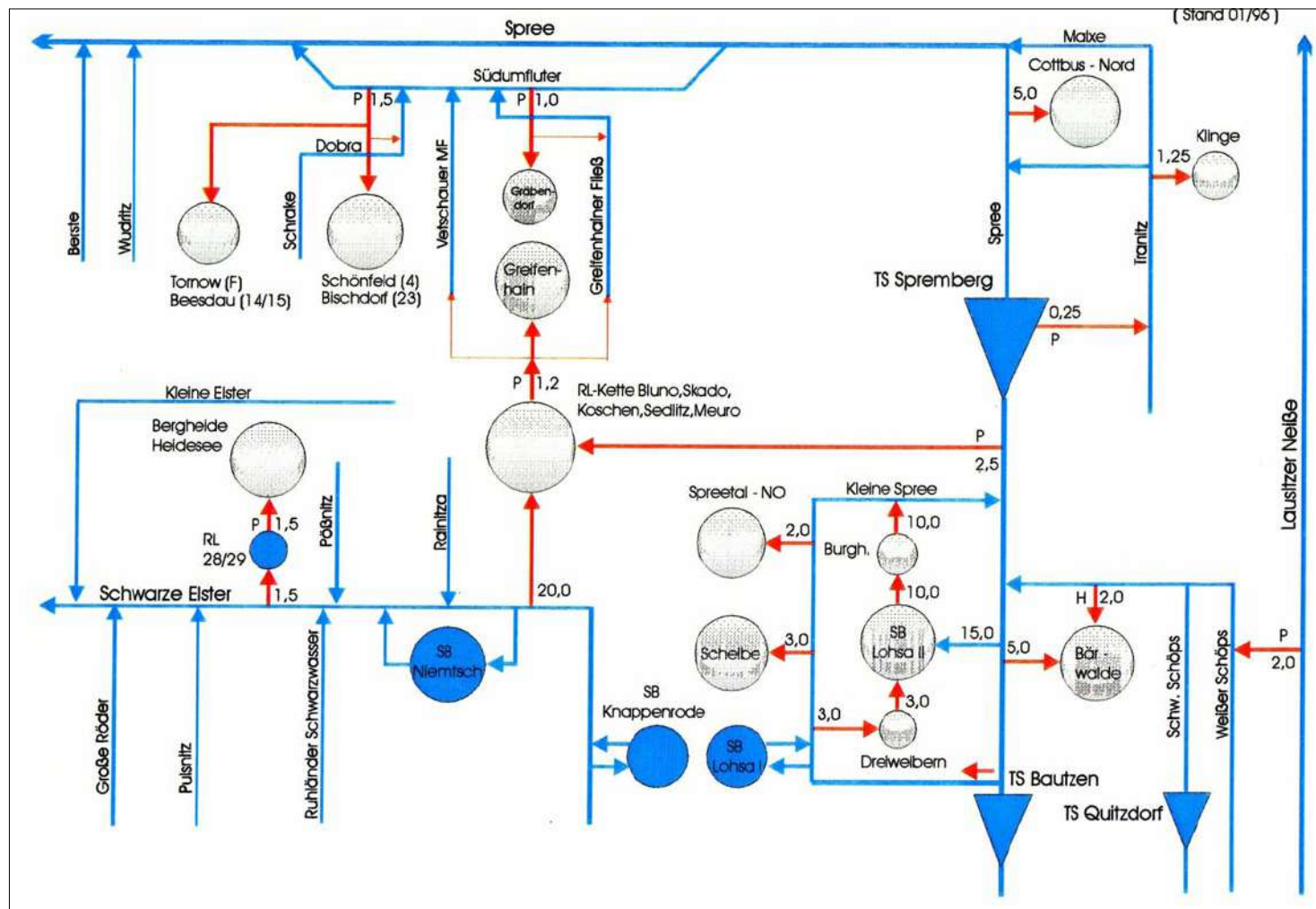


modelo del agua disponible



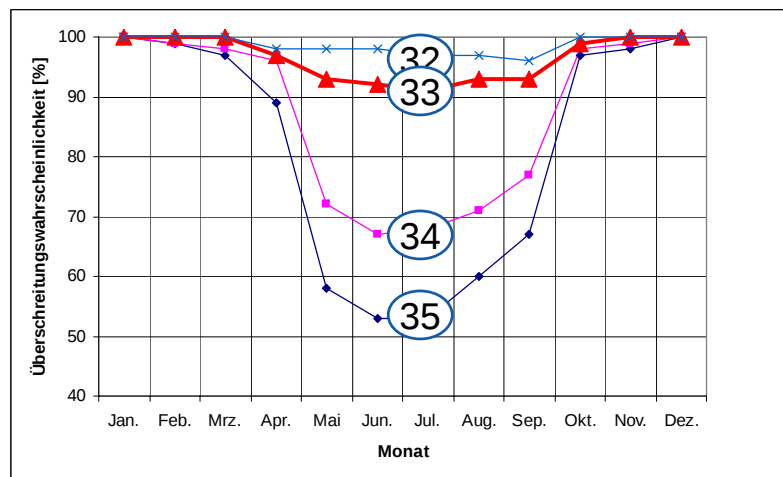
$$\frac{dV}{dt} = \underbrace{(Q_{asub,en} - Q_{asub,sa})}_{\text{agua subterránea}} + \underbrace{(Q_{asup,en} - Q_{asup,sa})}_{\text{agua superficiales}} + \underbrace{(Q_{P-ETP})}_{\text{balance climatico}}$$

Proceso de llenado conceptual

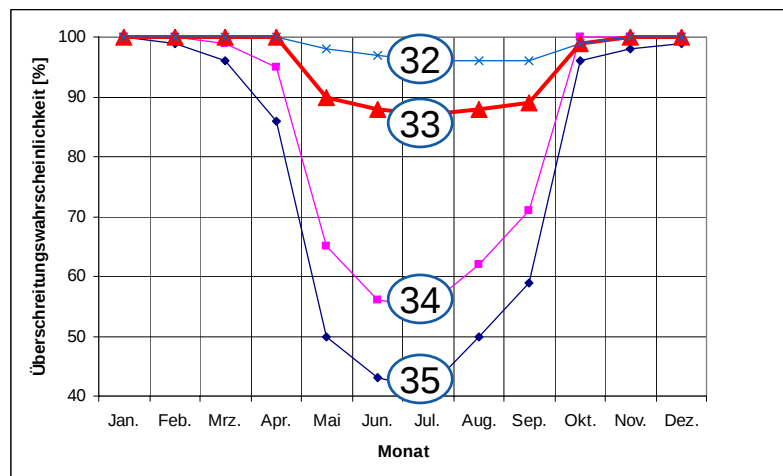


Aseguramiento de la provisión de aguas para Berlin (estación de medida de entradas Große Tränke)

año 2005



año 2020



escenarios:

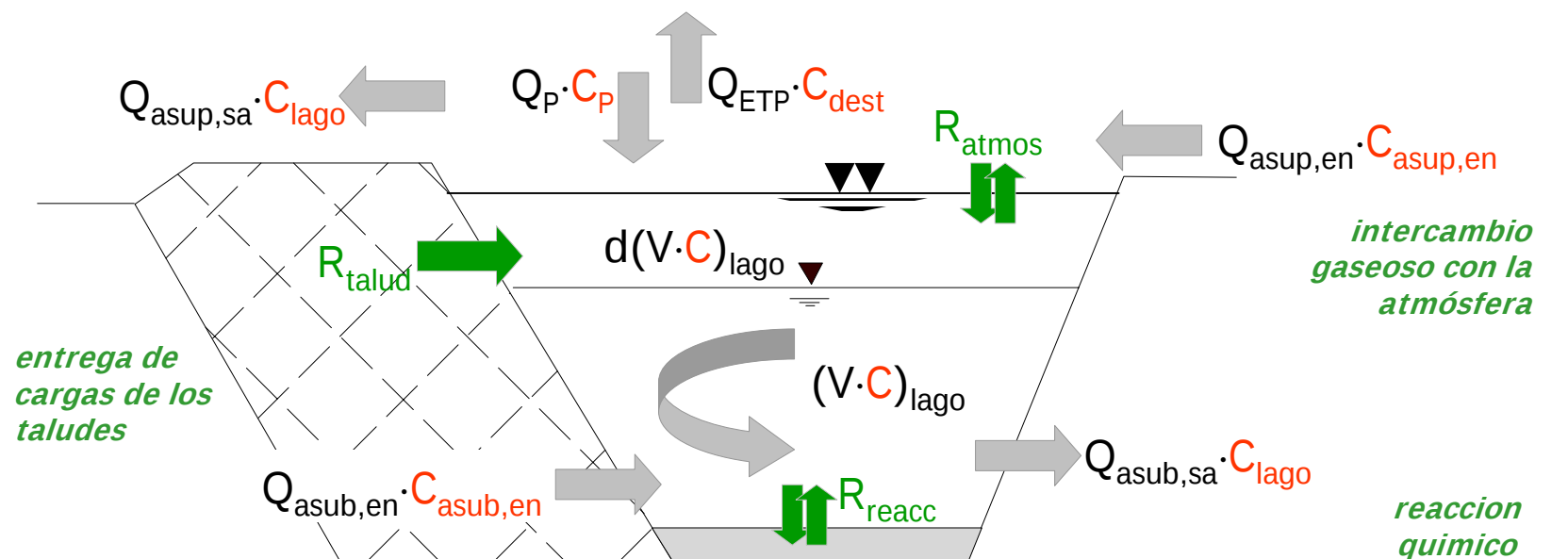
35 ningún tipo de medidas

34 no reservorio, medidas adicionales

33 Lohsa II

32 Lohsa II + medidas adicionales

Modelo de pronostico – balance de cargas



$$\frac{d(V \cdot C)_{\text{lago}}}{dt} = \sum_i (Q_i \cdot C_i)_{\text{asub,en}} - \sum_j (Q_j \cdot C_{\text{lago}})_{\text{asub,sa}} + \sum_i (Q_i \cdot C_i)_{\text{asup,en}} - \sum_j (Q_j \cdot C_{\text{lago}})_{\text{asup,sa}} + (Q_P \cdot C_P) - (Q_{\text{ETP}} \cdot C_{\text{dest}}) \pm R$$

contenido de cargas

afluencia de agua subterránea

afluencia de agua superficial

precipitacion

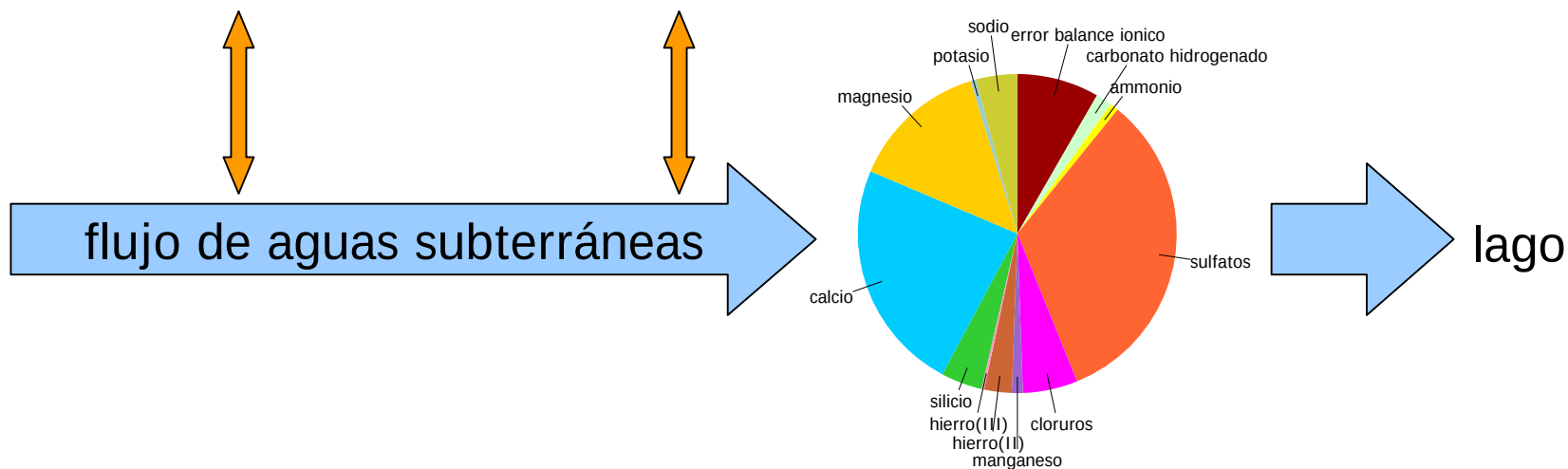
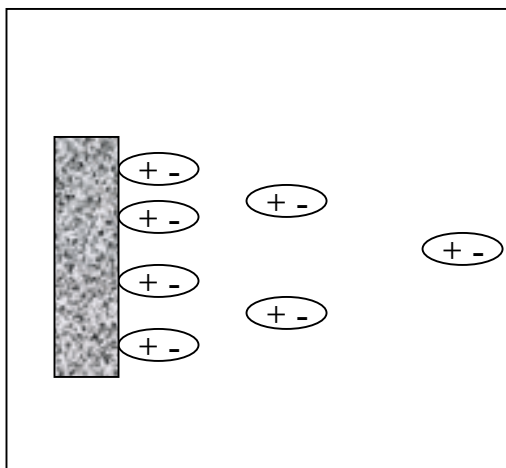
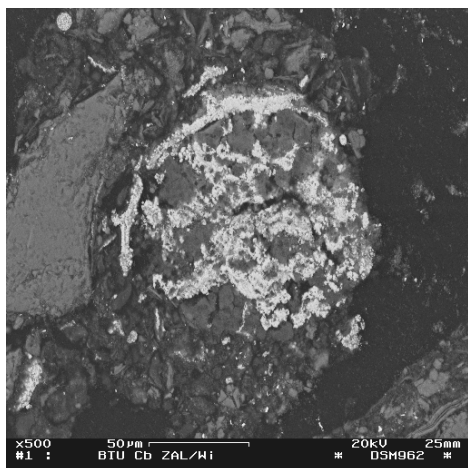
reaccion

salida de agua subterránea

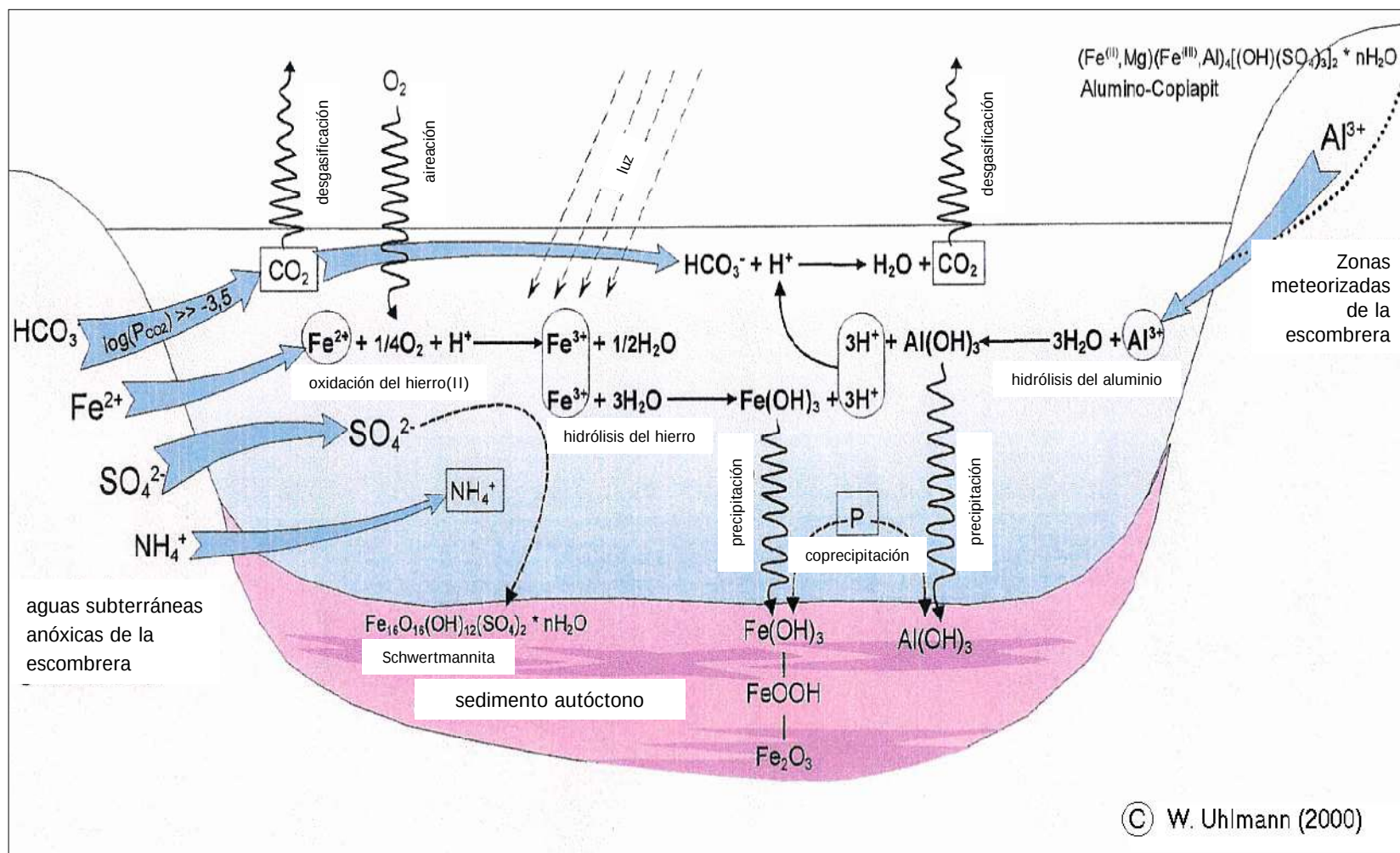
salida de agua superficial

evapotranspiracion

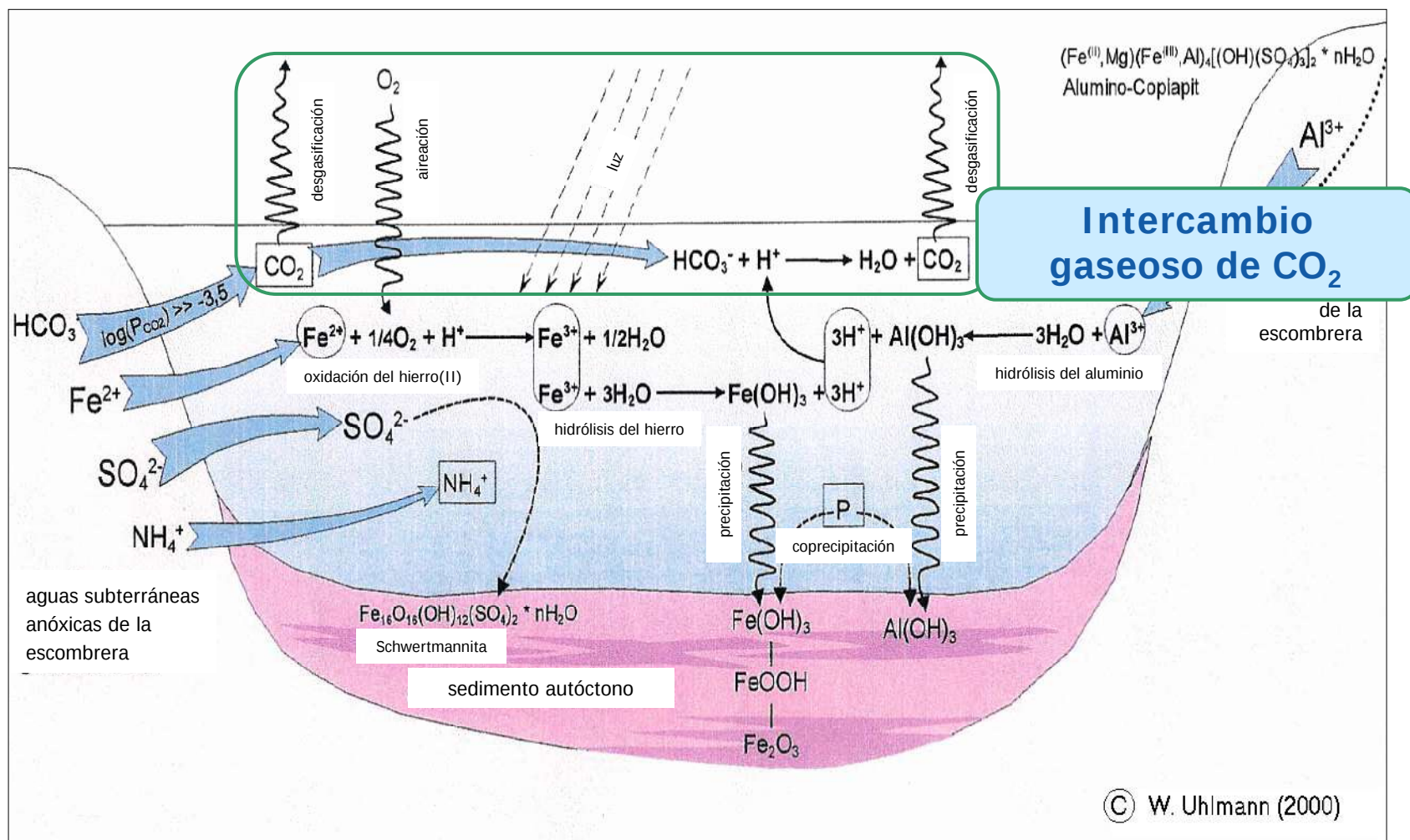
Pronóstico de la transformación de la calidad de las aguas subterráneas



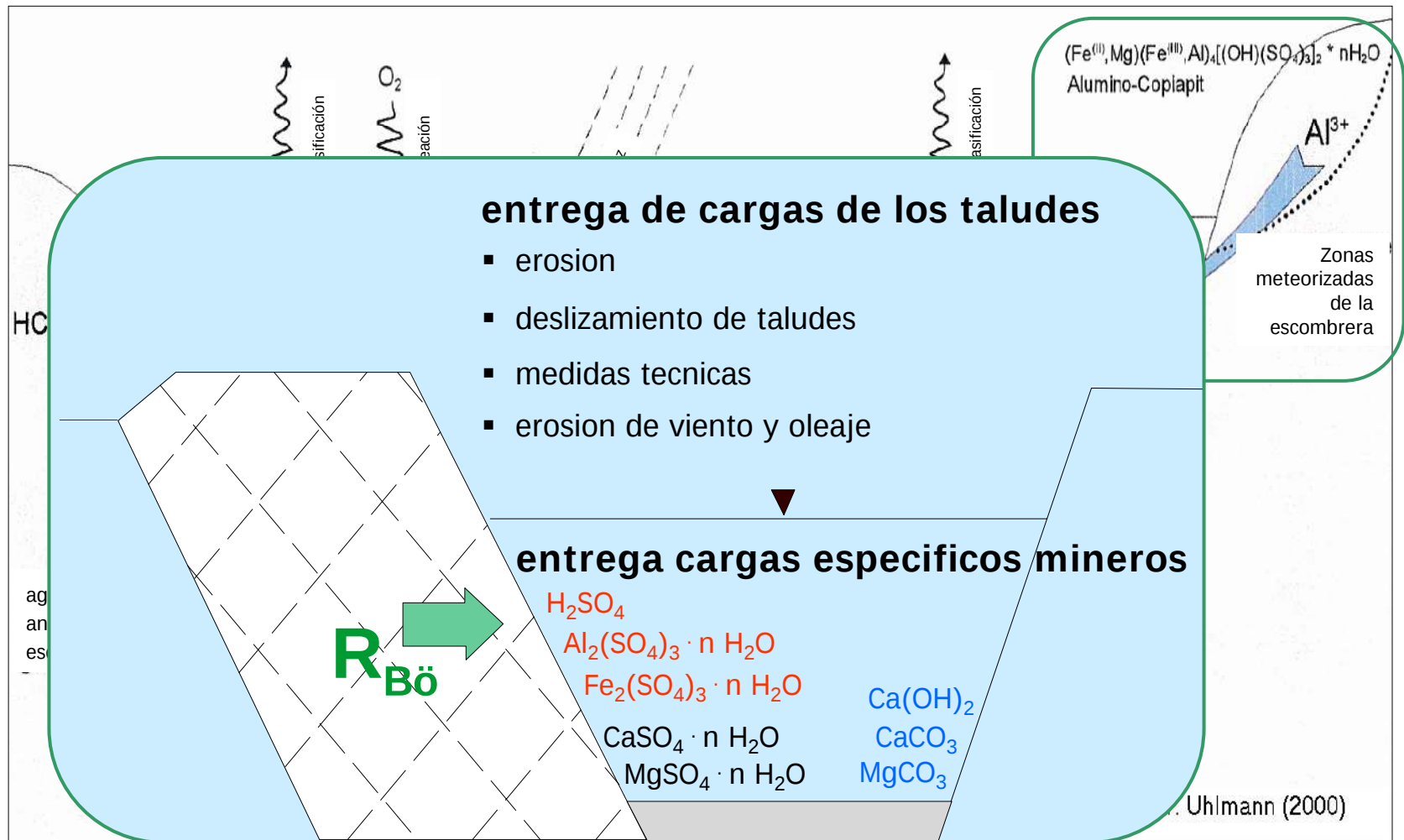
Procesos eficaces de calidad en el lago final de mina



Procesos eficaces de calidad en el lago final de mina

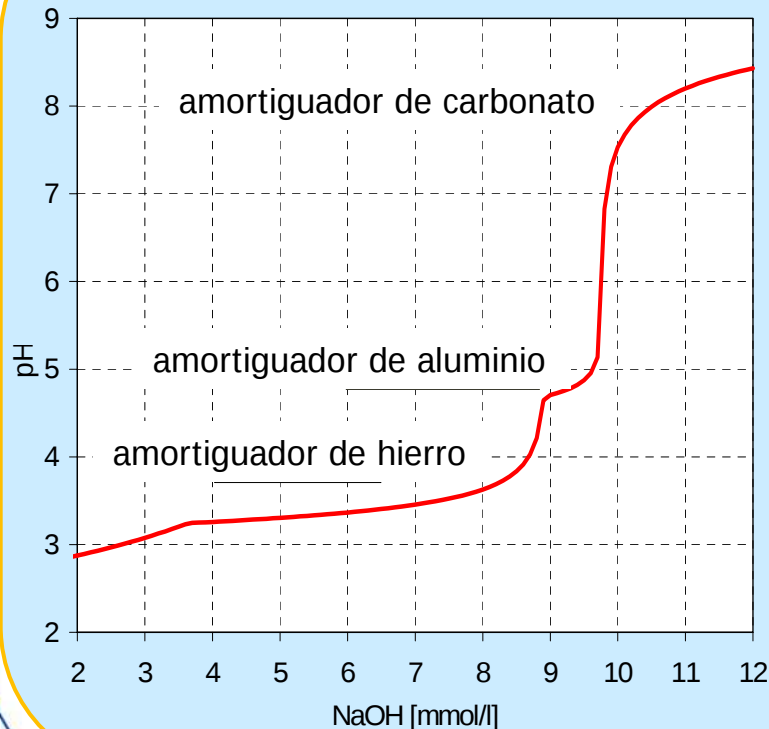


Procesos eficaces de calidad en el lago final de mina



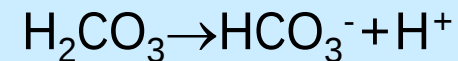
Procesos eficaces de calidad en el lago final de mina

procesos de amortiguación

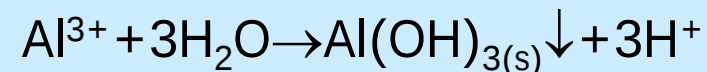


disociación de ácido carbónico

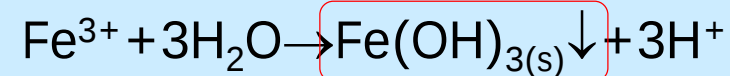
pH > 6,5



hidrólisis del aluminio y precipitación pH 4...5



hidrólisis del hierro y precipitación pH < 4



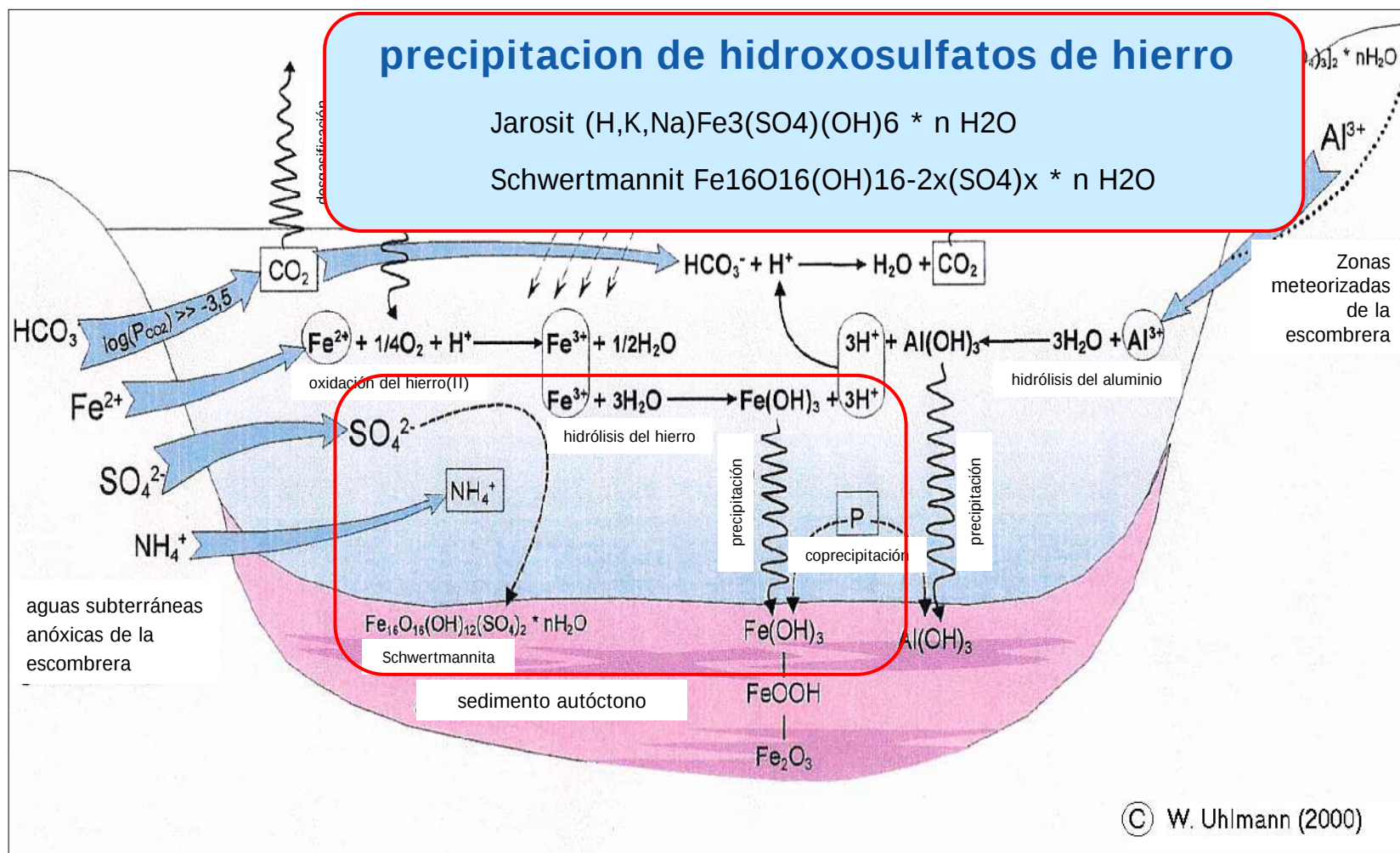
$(\text{Fe}^{(II)}, \text{Mg})(\text{Fe}^{(III)}, \text{Al})_4[(\text{OH})(\text{SO}_4)_2]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Alumino-Copiapit

Al^{3+}

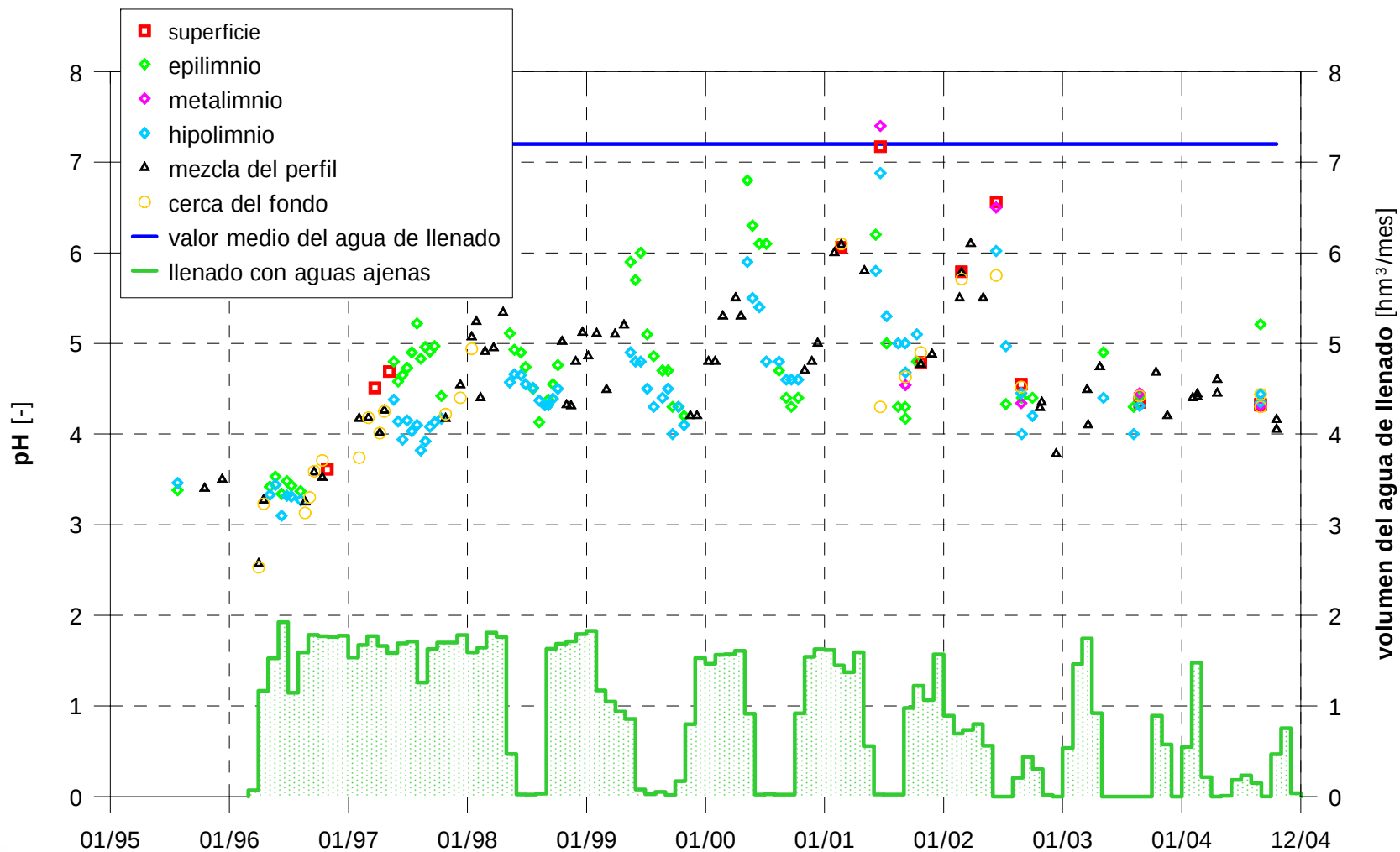
Zonas
meteorizadas
de la
escombrera

mann (2000)

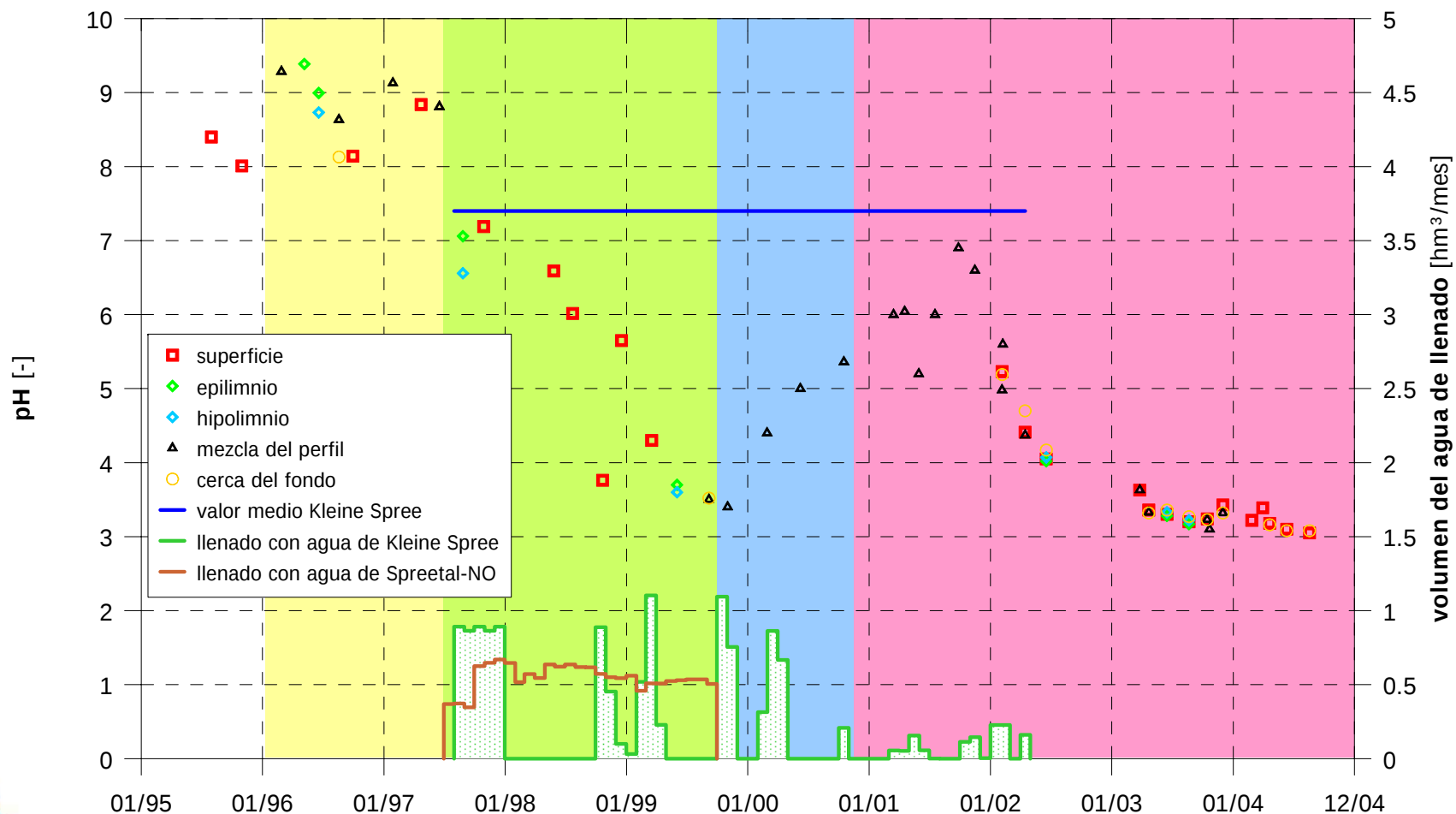
Procesos eficaces de calidad en el lago final de mina



Ejemplo lago final de Gräbendorf

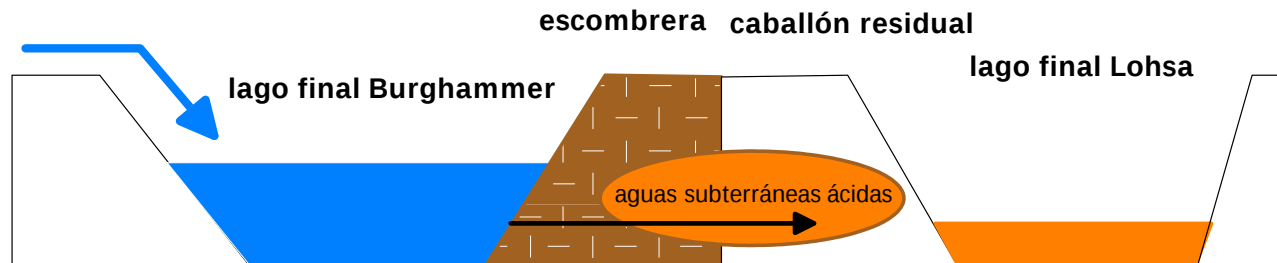


Ejemplo lago final de Burghammer I

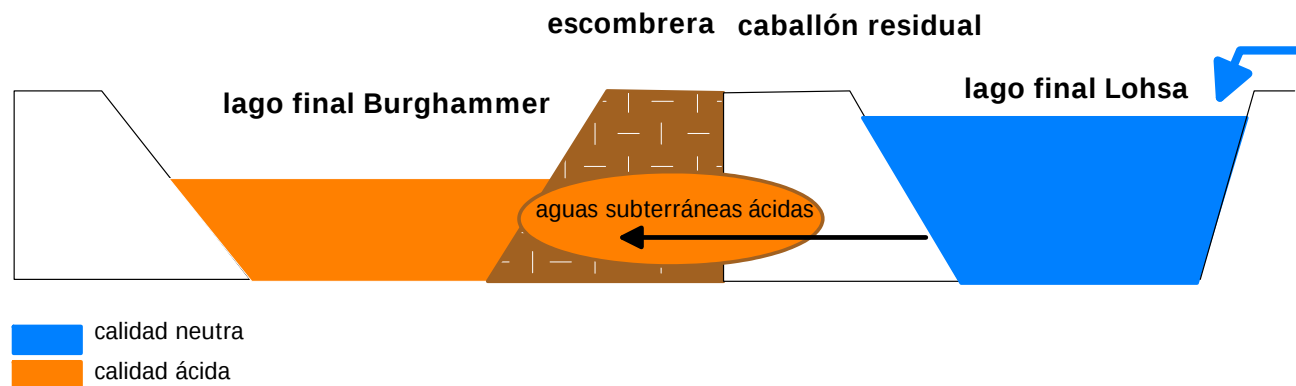


Ejemplo lago final Burghammer II

Pasado



Presente y futuro



Alternativas / medidas tecnológicas complementarias

Las medidas tecnológicas tienen como objetivo, mediante introducción de alcalinidad incrementar el valor del pH, reducir la concentración metálica o mediante procesos reductores, disminuir las concentraciones de sulfatos.

Existen múltiples posibilidades de realización:

- plantas clásicas de tratamiento de aguas de mina a la entrada o salida de un lago
- procesos „in situ“ en el lago (adicción de cal ó materias residuales orgánicas)
- procesos análogos a los de la naturaleza (por ej. „constructed wetlands“)



Conclusiones I

- La calidad de los distintos lagos finales mineros no es uniforme y desarrollará una evolución diferenciada según las condicionantes de su entorno geológicos, geohidráulicos, hidrológicos y tecnológicos.
- El proceso de llenado mediante aguas superficiales es el método más eficaz para la mejora de la calidad del agua.
- Para el proceso de llenado deberán aprovecharse todos los recursos disponibles respetando una estricta observancia de los caudales mínimos ecológicos y, en s caso, de derechos concurrentes.

Conclusiones II

- Junto al proceso de llenado es necesario adoptar adicionalmente medidas tecnológicas encaminadas al aseguramiento de las condiciones de las escorrentías en cada caso.
- El concepto metodológico aplicado al pronóstico de la calidad supone una estructura robusta y flexible para la planificación del saneamiento.
- La generación de una base de datos sólida representa un requisito indispensable para la fiabilidad del pronóstico.
- Los objetivos de saneamiento/aprovechamiento deberán orientarse siempre a lo „realizable“.

Muchas gracias por su atención!



Photo LMBV

*ENCUENTRO INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN RECUPERACIÓN
AMBIENTAL DE MINERÍA DE LIGNITO*

INFLUENCIA DE LA INUNDACIÓN DE LA CORTA DE
MEIRAMA SOBRE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

POR PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN, ETSI de Minas (UPM)
RICARDO LAÍN HUERTA, ETSI de Minas (UPM)
ROBERTO LECHOSA ESTRADA, Inytram.

NE

SW

GRANITO FRACTURADO

GRANITO
CATACLÁSTICO

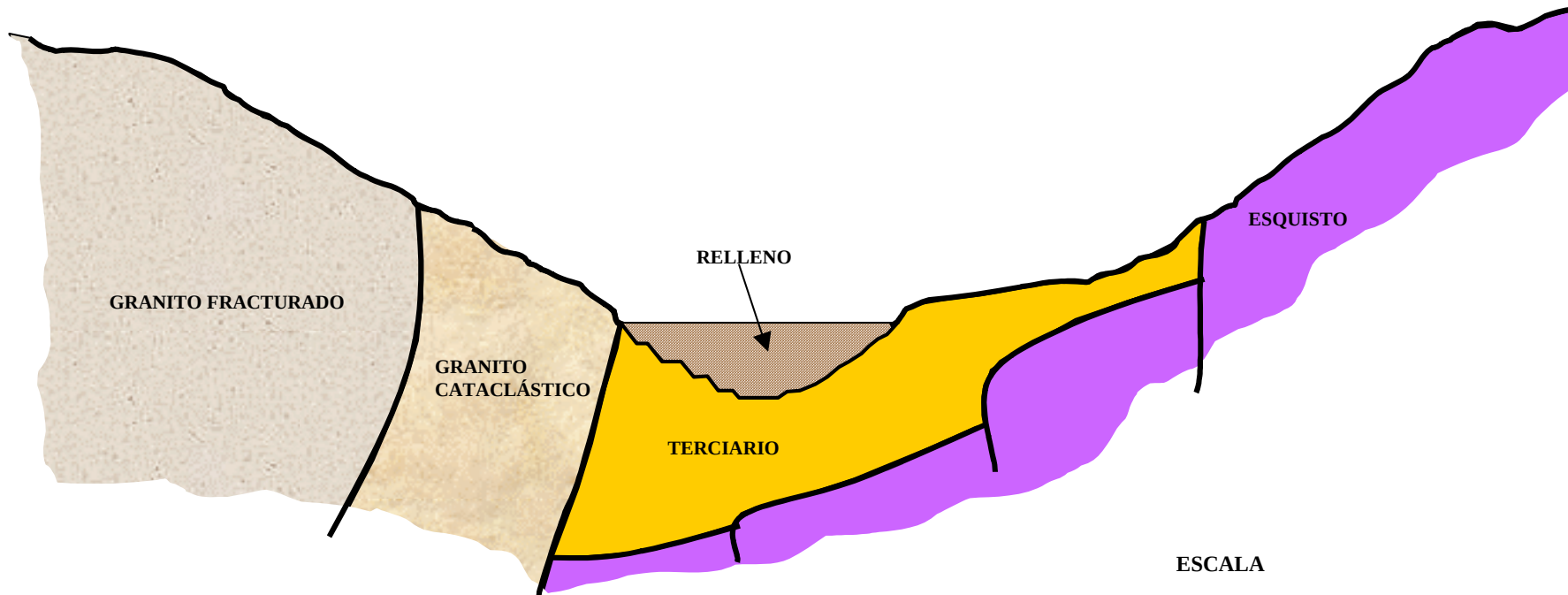
RELLENO

TERCIARIO

ESQUISTO

ESCALA

0 50 100 150 200 m



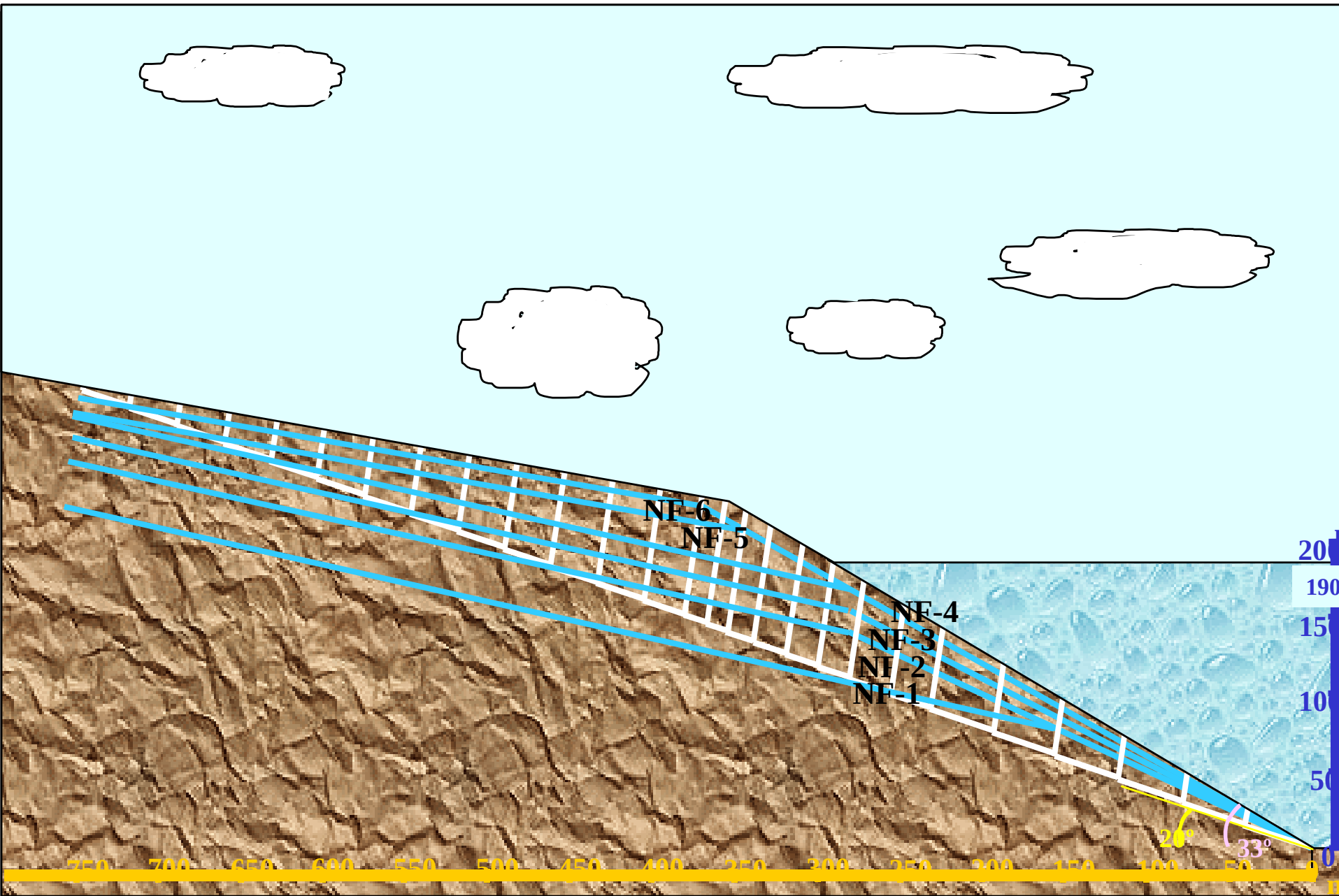


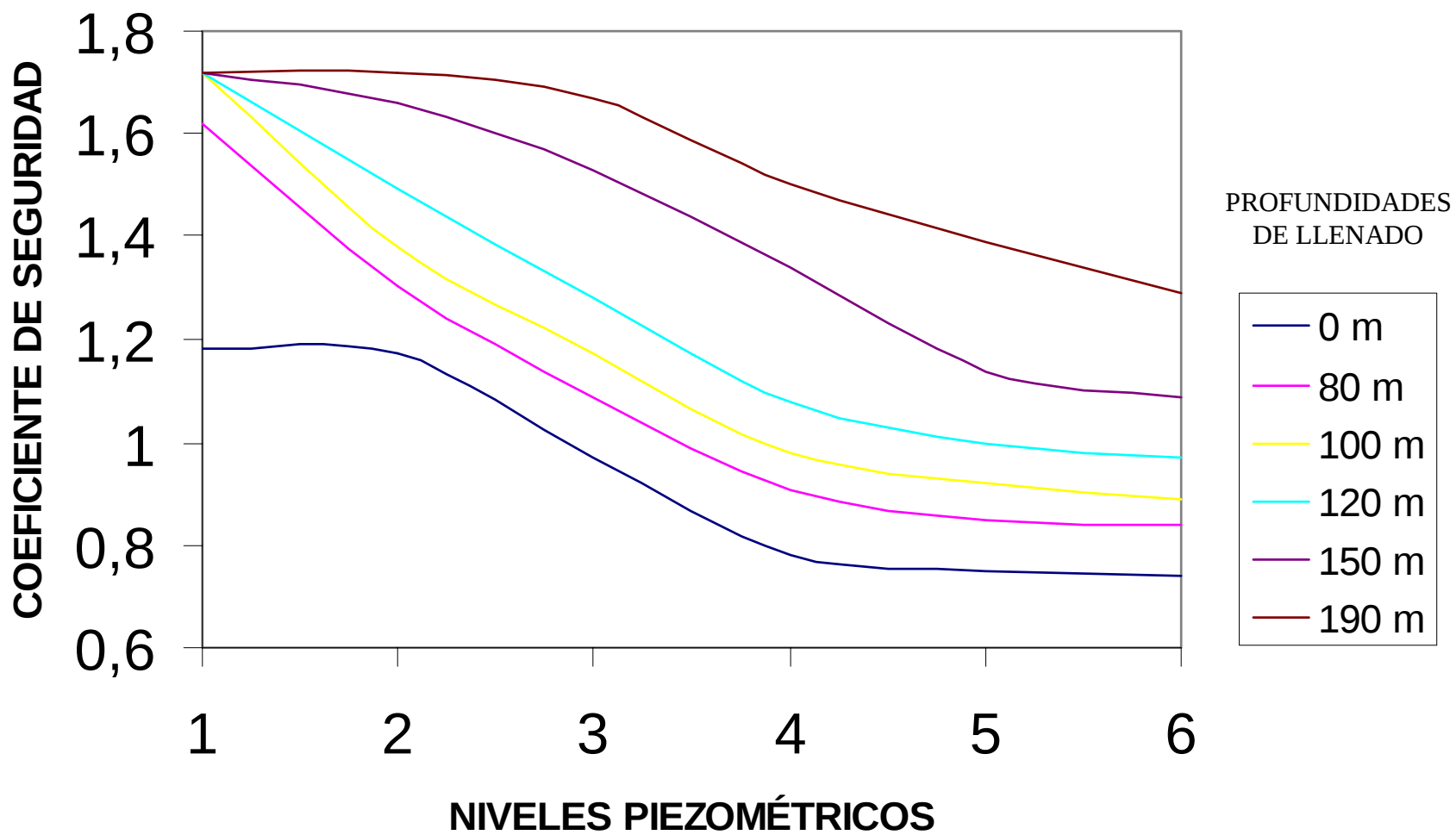








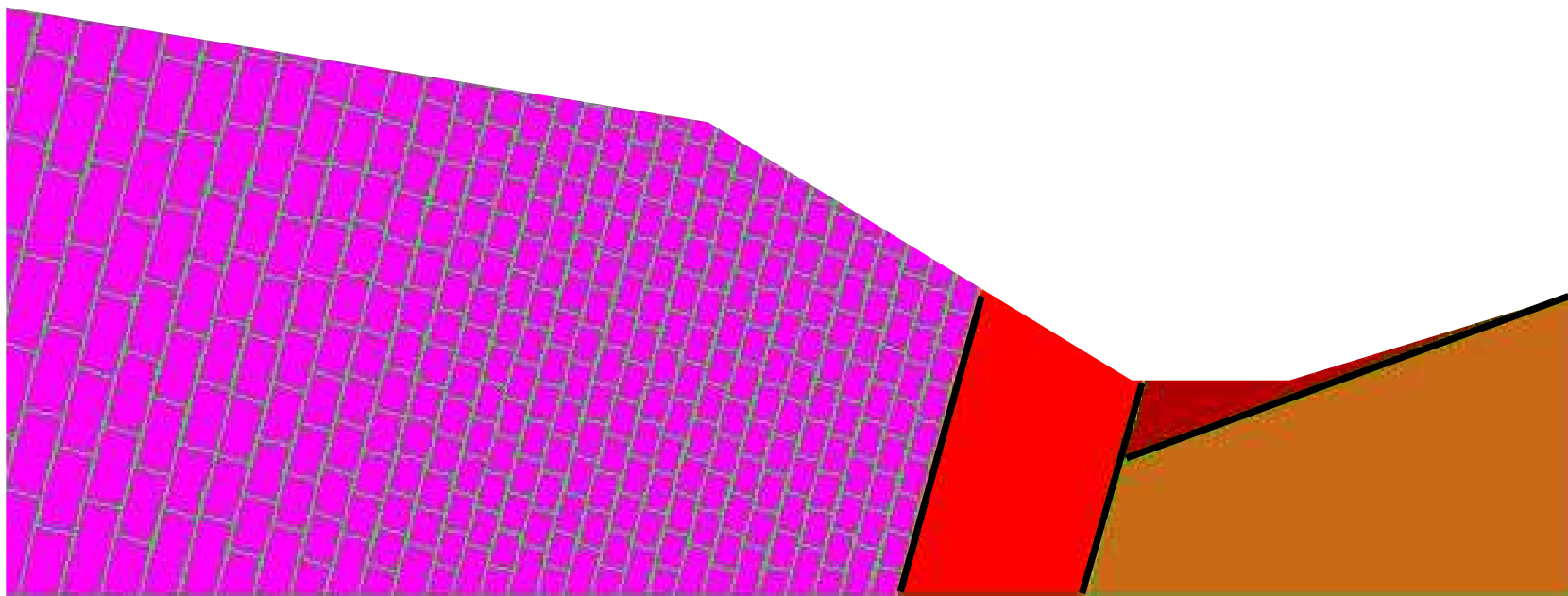




***ENCUENTRO INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN RECUPERACIÓN
AMBIENTAL DE MINERÍA DE LIGNITO***

Datos para el modelo UDEC

- ✓ Geometría del modelo y de los bloques y condiciones de contorno.
- ✓ Tensiones naturales.
- ✓ Propiedades mecánicas de los materiales y de las discontinuidades..



***ENCUENTRO INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN RECUPERACIÓN
AMBIENTAL DE MINERÍA DE LIGNITO***

**Propiedades mecánicas de los materiales y de las
discontinuidades**

Macizo rocoso	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción	Coeficiente de Poisson	Módulo de Young (MPa)	Densidad kg/m ³
Granito fracturado	700	48	0,25	6000	2500
Granito cataclástico	45	29	0,15	600	2500
Terciario	60	30	0,25	20	1300
Esquisto	500	45	0,25	10000	2700

Discontinuidad	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción
Subvertical en granito (F1)	45	29
Subhorizontal en granito (F3)	0	35
Contacto lignito/esquisto	24	18

***ENCUENTRO INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN RECUPERACIÓN
AMBIENTAL DE MINERÍA DE LIGNITO***

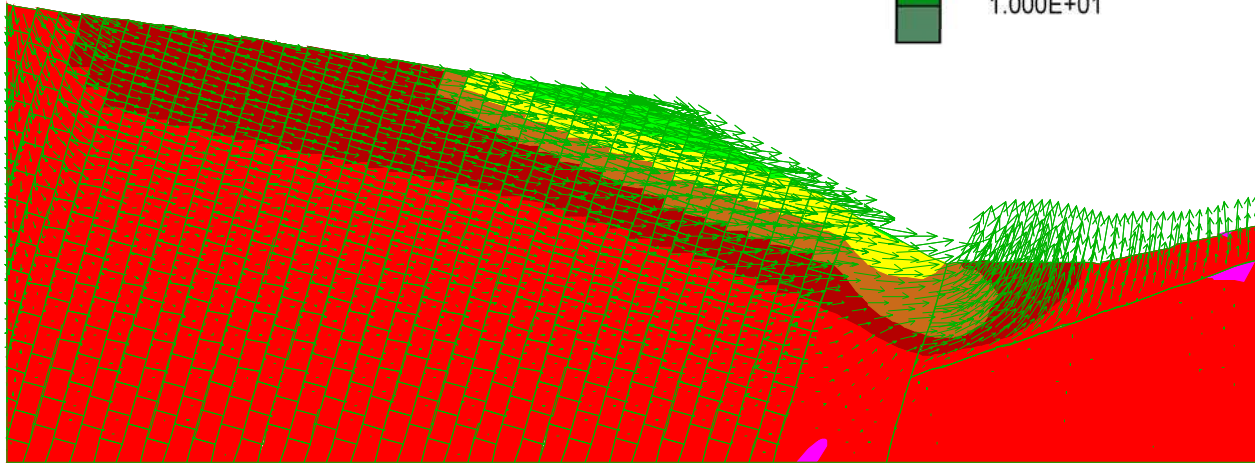
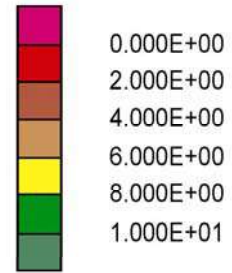
CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

$$c_i^{prueba} = (1 / CS^{prueba}) \cdot c_i^{real}$$

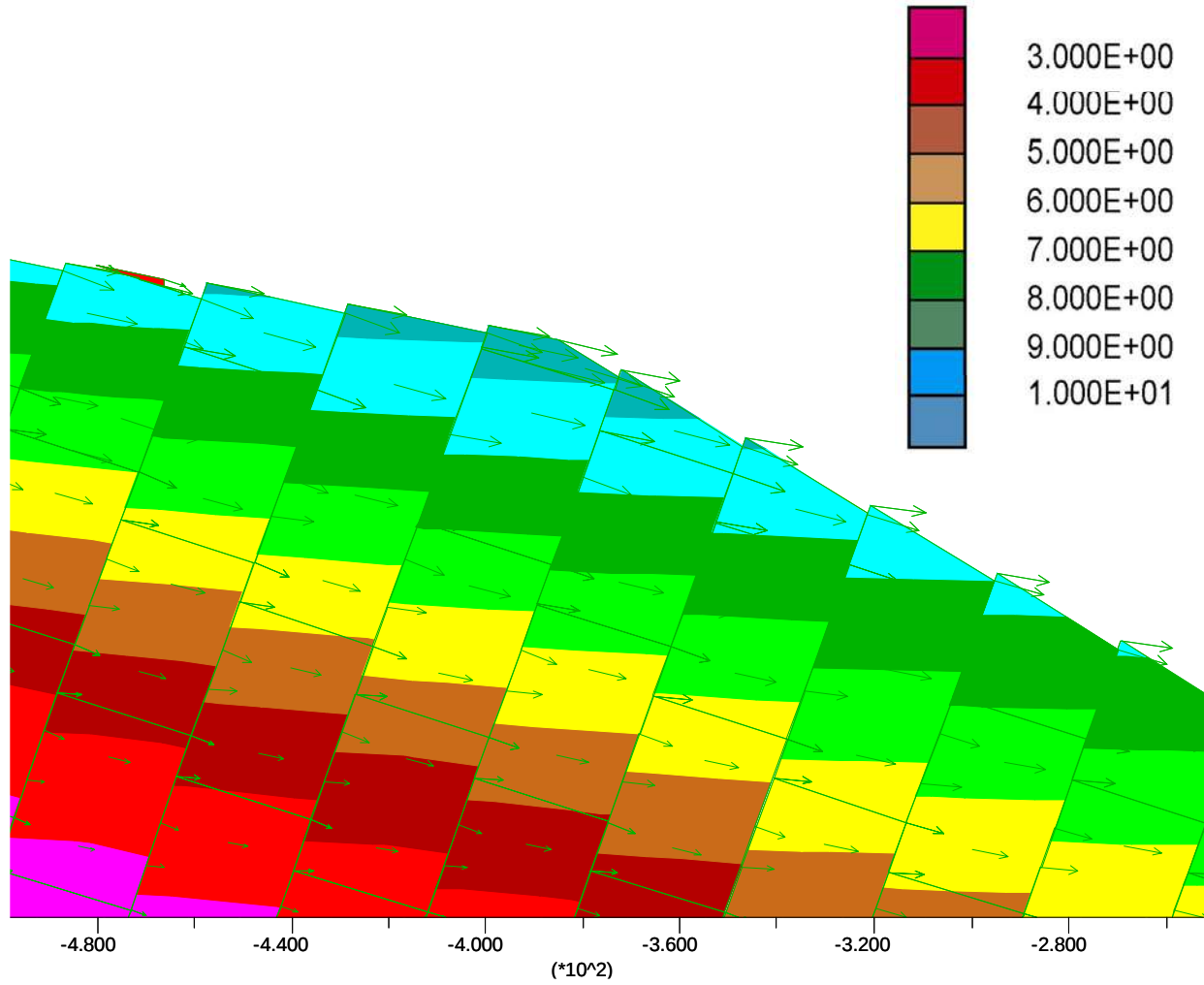
$$\sigma_{ti}^{prueba} = (1 / CS^{prueba}) \cdot \sigma_{ti}^{real}$$

$$\phi_i^{prueba} = \arctan\left[\left((1 / CS^{prueba}) \cdot \tan \phi_i^{real}\right)\right]$$

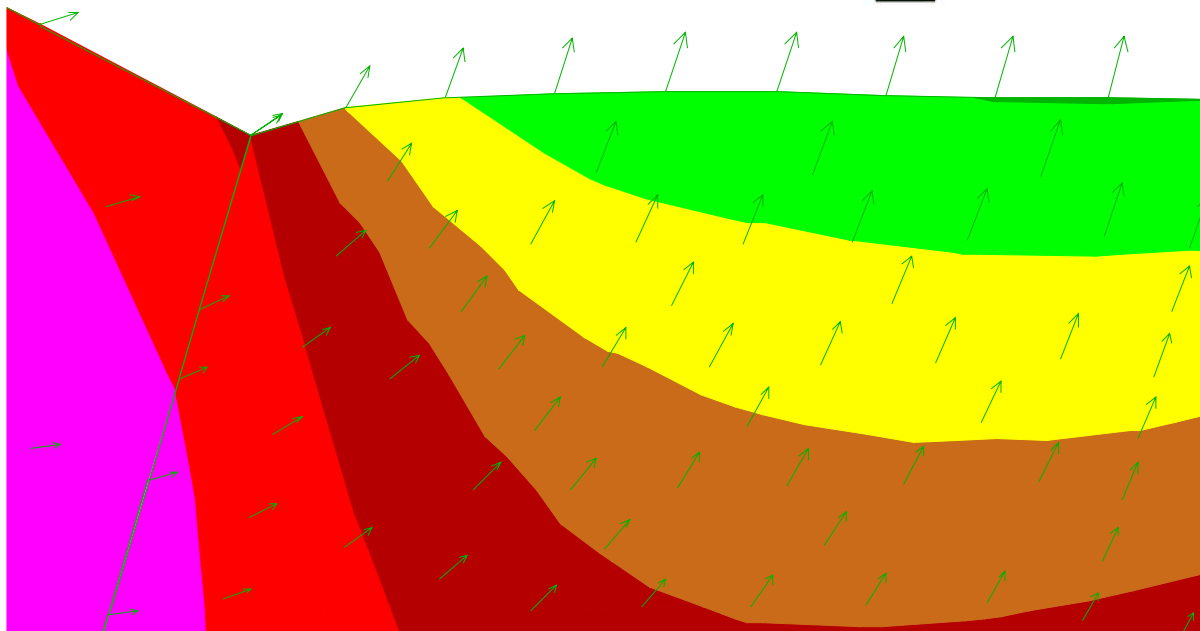
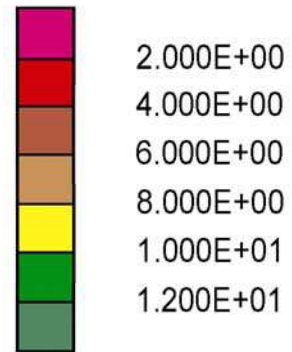
DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES (m)



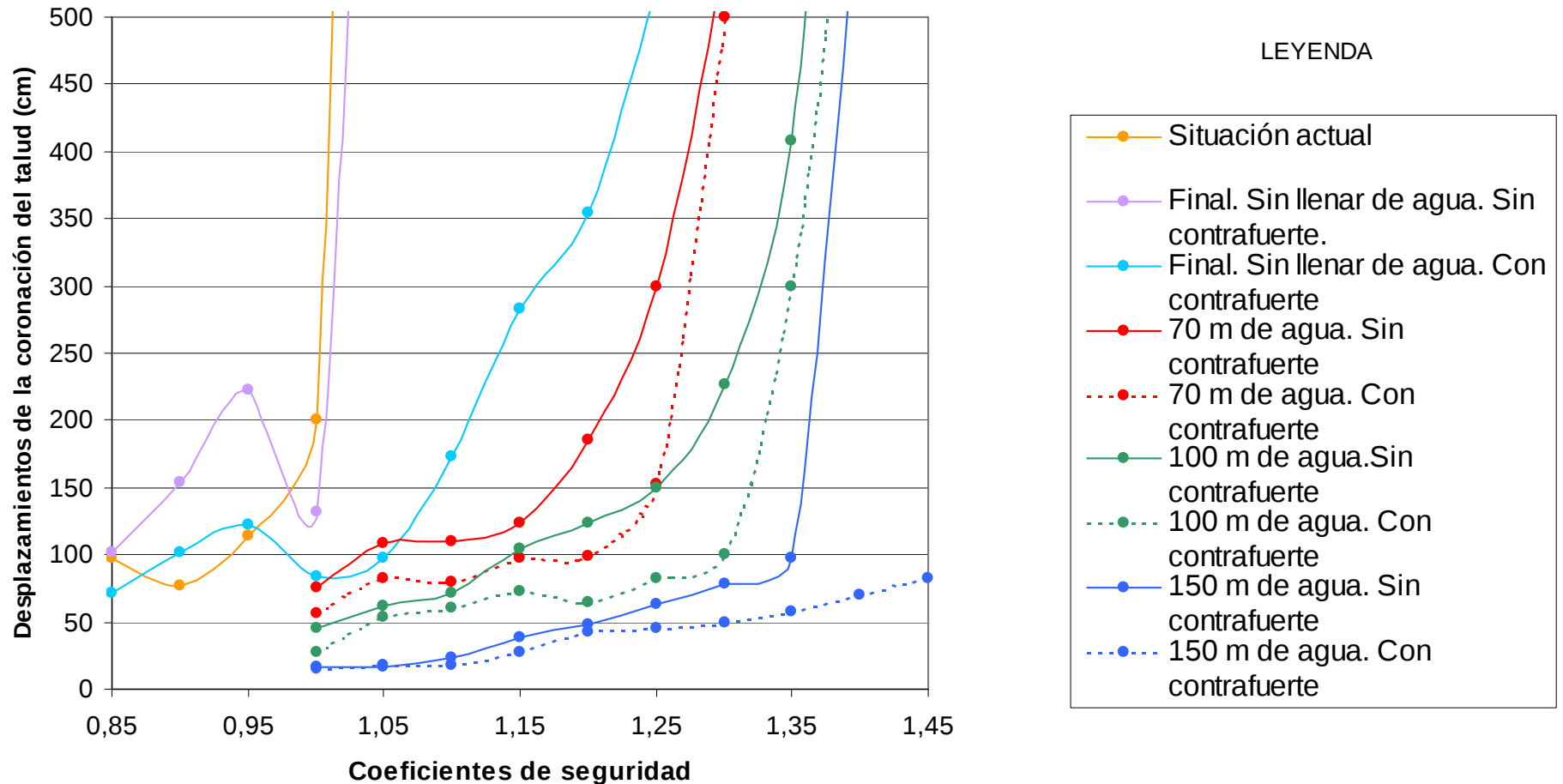
DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES (m)



DESPLAZAMIENTOS VERTICALES (m)



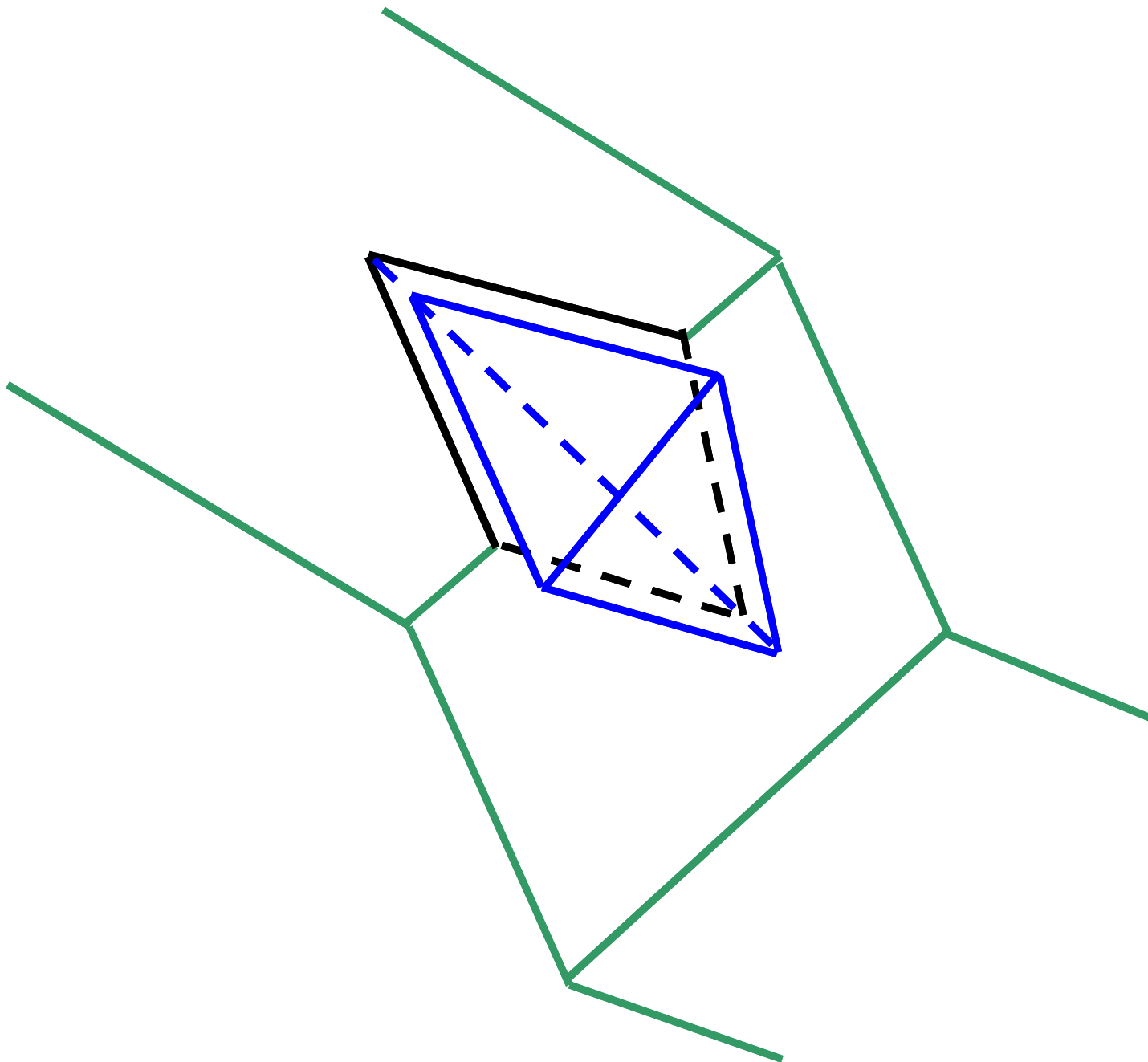
Coeficientes de seguridad para diferentes estados del talud



ENCUENTRO INTERNACIONAL DE EXPERTOS EN RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE MINERÍA DE LIGNITO

COEFICIENTES DE SEGURIDAD DEL PARAMENTO NE

- ✓ Situación actual: C.S.=1,00
- ✓ Situación final: C.S.=0,90
- ✓ Situación final con contrafuerte: C.S.=1,10
- ✓ Situación final sin contrafuerte y con una altura de agua de 70 m: C.S.=1,16
- ✓ Situación final con contrafuerte y con una altura de agua de 70 m: C.S.=1,24
- ✓ Situación final sin contrafuerte y con una altura de agua de 100 m: C.S.=1,22
- ✓ Situación final con contrafuerte y con una altura de agua de 100 m: C.S.=1,31
- ✓ Situación final sin contrafuerte y con una altura de agua de 150 m: C.S.=1,36
- ✓ Situación final con contrafuerte y con una altura de agua de 150 m: C.S.>1,45







EL AGUA EN LA ESCOMBRERA EXTERIOR DE LA MINA DE AS PONTES

*D. Francisco Aréchaga Rodríguez
Ingeniero de Minas
Director de la Mina de As Pontes*

**EL AGUA EN LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LAS GRANDES
EXPLOTACIONES DE LIGNITO PARDO**

MADRID, 10 DE MARZO DE 2005

ÍNDICE

1.- ANTECEDENTES	3
2.- EL YACIMIENTO DE AS PONTES	3
3.- ESCOMBRERA EXTERIOR.....	6
3.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DISEÑO	7
3.2.- LABOREO Y DESARROLLO.....	8
3.3.- HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	10
3.4.- RESTAURACIÓN	12
4.- AGUAS DE LA EXPLOTACIÓN. PLANTA DE TRATAMIENTO.	16
5.- AGUAS DE LA ESCOMBRERA EXTERIOR.....	17
5.1.- CAMPAÑA DE ANÁLISIS 1990-1992	18
5.2.- CAMPAÑA DE ANÁLISIS 1998 - 2004	19
6.- CONCLUSIONES	22

1. - ANTECEDENTES

Los orígenes de la explotación del yacimiento de Puentes de García Rodríguez (A Coruña) se remontan a la década de los 40, cuando la Empresa Nacional Calvo Sotelo (ENCASO) creada por el INI en 1942 con el objetivo de obtener lubricantes y combustibles líquidos a partir de materias primas nacionales, construyó en As Pontes una central térmica de 32 MW y un complejo carboquímico, cuyo combustible y materias primas fueron el lignito obtenido en la Mina propiedad de la misma empresa.

Posteriormente, por acuerdo del Consejo de Ministros del 4 de Febrero de 1972, los activos mineros y eléctricos de esta empresa pasan a propiedad de la entonces Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA), para construir una Central Térmica de 1.400 MW y dotar la Mina de un nuevo equipamiento para extraer a cielo abierto 12 Mt de lignito anuales.

Este Complejo Minero-Eléctrico, cuya Mina abastecía íntegramente el combustible que la central demandaba, sufrió una transformación por exigencias medioambientales, en el cuatrienio 1993-1996, adaptando los cuatro grupos de la central para consumir un nuevo combustible obtenido a partir de una mezcla entre el lignito local y carbón importado de bajo contenido en azufre, con el fin de reducir muy sensiblemente las emisiones contaminantes. Esta transformación del Complejo, tuvo como consecuencia la reducción de la producción de la Mina a un ritmo anual de unos 6 Mt.

La trasposición de la Directiva Comunitaria de Grandes Instalaciones de Combustión -GIC-, supone que ENDESA GENERACIÓN S.A. , actual propietaria de los activos de Endesa en As Pontes, haya optado por transformar la Central para utilizar únicamente carbón importado a partir de Enero de 2008. En consecuencia, la Mina deberá finalizar su producción en Diciembre de 2007.

2. - EL YACIMIENTO DE AS PONTES

El depósito productivo consiste en una potente serie sedimentaria de edad terciaria, constituida por una alternancia rítmica de arcillas y

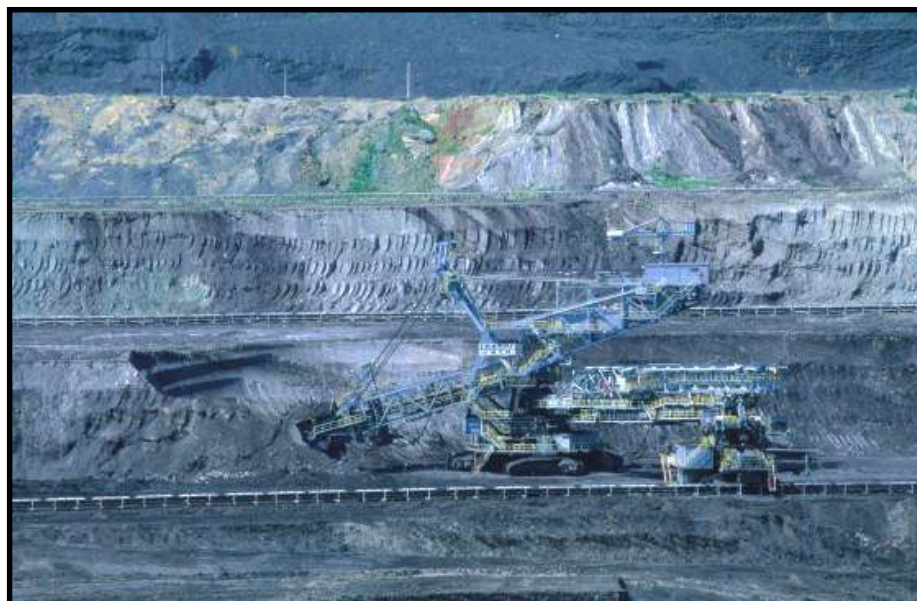
lignito, con intercalaciones de arenas. En total se contabilizan 19 capas de lignito con espesores entre 1 y 28 metros; el aspecto general es el de un "milhojas" con gran variabilidad de capas de arcilla intercaladas en el carbón. La roca encajante está constituida por filitas y cuarzo-filitas del paleozoico.

La cuenca tiene una longitud de 8,5 Km., con anchuras máximas de 2 y 3 Km. en sus bordes occidental y oriental, respectivamente, mientras que en la zona central existe un umbral de zócalo que reduce su anchura a 1 Km. El pueblo de As Pontes de García Rodríguez se asienta en el extremo del borde oriental citado.

La corta ocupa una extensión de 11,8 Km², parte de los cuales, 3 Km², corresponden a las filitas de los bordes y el resto a la cuenca sedimentaria. Esta corta se subdivide en dos grandes campos de explotación: el Campo Oeste con una profundidad excavada de 225 m y el Campo Este con 160 m, en el intermedio de ambos Campos se encuentra otra zona de explotación denominada Umbral.

En la actualidad se encuentran en explotación el Campo del Oeste y la zona Umbral, habiéndose finalizado el laboreo del Campo del Este, que ya se encuentra habilitado como Escombrera Interior.

Hasta diciembre de 2004 se han extraído 250 Mt de lignito y 680 Mm³ de estéril.



La explotación se realiza mediante el método alemán, basado en extracción con excavadora de rodete, transporte mediante cinta de gran capacidad y vertido con apiladora de brazo giratorio. En estos momentos se dispone de 5 excavadoras de rodete, 3 apiladoras y 29 Km. de cintas transportadoras.

Los condicionantes de la explotación no permitieron la construcción de Escombreras interiores hasta 1999. Por ello, la mayor parte de los estériles y las cenizas resultantes de la combustión del lignito y carbón importado, tuvieron que depositarse en una Escombrera Exterior situada en el borde sureste de la Mina, fuera de la cuenca productiva.



A partir del año anteriormente citado, fue posible iniciar una Escombrera Interior en el Campo Este de la explotación, que coexistió con la Escombrera Exterior hasta el verano de 2002. En esta fecha, finaliza el laboreo de la Escombrera Exterior y, desde entonces, todo el estéril y cenizas se envía únicamente a la Escombrera Interior.

La selección de lignito y estéril la realiza la propia excavadora en el frente de trabajo y su destino final se marca en el Nudo de Transferencia.



Cada una de las diferentes calles está compuesta por varias cintas interconexionadas entre sí, conformando una línea poligonal que se adapta a la geometría necesaria para el desarrollo de los bancos de la explotación.

3. - ESCOMBRERA EXTERIOR

Desde el inicio de la explotación hasta el año 2002, el material estéril extraído por las rotopalas fue necesario depositarlo en una zona externa a la cuenca productiva, razón por la que se habilitó una Escombrera Exterior en el llamado valle de Almigonde. Se trataba de una superficie conformada por el valle del arroyo Almigonde y seis vaguadas principales, limitando por el Oeste con el macizo granítico de la Sierra del Forgoselo.

La Escombrera Exterior en su configuración final, ocupa una superficie de 1.150 hectáreas, tiene un volumen de 720 millones de metros cúbicos y una altura de 160 metros.



3.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES Y DISEÑO

Los materiales que forman la Escombrera son los estériles limo-arcillosos del yacimiento, las filitas que conforman el borde del mismo y las cenizas producidas en la Central Térmica. La proporción de estas últimas supone aproximadamente un 10% respecto al total de vertidos por lo que prácticamente no influyen en su comportamiento geotécnico.

A efectos de diseño de taludes, tampoco las filitas han condicionado la inclinación de los mismos ya que, si bien es cierto que sus características geomecánicas son mejores que las de los estériles terciarios, su volumen respecto al total de los vertidos, entre 15 y 20 %, es relativamente pequeño. No obstante, en razón a sus mejores características resistentes, estos materiales se han utilizado en la ejecución de diques, rasantes y obras singulares.

Por tanto, son las características de los estériles arcillosos las que han condicionado la geometría final de los taludes y con este objetivo se han diseñado las campañas de investigación y reconocimiento geotécnicos.

A partir de los estudios de compresibilidad de estos materiales se puede afirmar que la disipación de las sobrepresiones intersticiales en los

estériles generados durante la construcción de la Escombrera, será extremadamente lenta y tendrá lugar a lo largo de decenas de años.

Con la predicción de presiones intersticiales y parámetros resistentes, se dedujo que las condiciones de estabilidad eran más desfavorables a largo que a corto plazo para alturas de talud menores de 150 m, y al contrario para alturas mayores.



La pendiente finalmente adoptada para la construcción de la Escombrera fue de 10(H):1(V) para alturas de talud de 160 m.

En lo que respecta a taludes de banco, se compatibilizó la ejecución con seguridad y estabilidad, alcanzando una altura óptima de banco de 20-25 metros. Para esta altura de banco son estables, a corto plazo, taludes de pendiente 3(H):1(V). Cuando se ejecutan en posición definitiva se construyen con pendientes 5(H):1(V).

3.2.- LABOREO Y DESARROLLO

La Escombrera tiene dos zonas claramente diferenciadas: la zona Este, más cercana a la explotación, y la Oeste más lejana y de mayor extensión.

En la zona Oeste los taludes alcanzan 150 m de altura y en la zona Este 130 m, llegando a 160 m en algunos puntos dependiendo de la topografía del valle.

Para la consecución de la geometría definitiva, la Escombrera se ha desarrollado de Norte a Sur por niveles de apilado de 20/25 m de altura desdoblándolos en dos de 10 m, o en uno de 10 m y otro de 15 m. El superior, nivel en altura, se construye por encima de la rasante de la apiladora; y el inferior, nivel en profundidad, por debajo de la rasante.

Como la pendiente del vertido que forma la apiladora en cada pasada es 1(H):1(V), es preciso dejar una berma entre los apilados en altura y profundidad, para que el talud alcance la pendiente 3(H):1(V) que requiere su estabilidad.



Una vez alcanzada esta situación, el proceso se repite mediante el traslado de la cinta transportadora (ripado) a la posición siguiente.

La correcta gestión de los materiales que han llegado a conformar la Escombrera, ha permitido:

- Prevenir ciertos problemas geotécnicos o corregirlos una vez presentados.
- Mejorar las condiciones de ejecución del apilado y el estado de las rasantes.
- Incrementar la capacidad de escombrado en algunas zonas.

Desde el punto de vista de la restauración la aplicación de los criterios de selección de los estériles establecidos después de numerosos estudios, ha dado como resultado la generación de superficies finales capaces de soportar cubiertas vegetales autosuficientes. A lo largo de los años se ha demostrado de forma práctica la importancia del vertido selectivo de los materiales en la Escombrera como primer paso en el proceso de restauración.

3.3.- HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

A consecuencia de la elevada pluviometría de la zona con precipitaciones medias anuales de 1.660 l/m^2 y puntas diarias de 120 l/m^2 , el laboreo de la Escombrera exige un adecuado drenaje de las aguas de escorrentía que supuso la ejecución de importantes infraestructuras para la recogida y conducción de las mismas.

Debido a la configuración del área de emplazamiento de la Escombrera, para posibilitar el laboreo, fue necesario canalizar la vaguada principal mediante el entubamiento del arroyo Almigonde. Esta conducción situada en la base de la Escombrera tiene una longitud de 7 Km. y un diámetro de 1 - 1,30 m.

La tubería se prolongó sucesivamente, a medida que la Escombrera subía de cota y avanzaba hacia el Oeste, para drenar las aguas de este sector.

Además de esta obra singular, fue necesario construir un canal de guarda circundando todo el perímetro de la Escombrera para evacuar el agua de las cuencas limítrofes y sus propias vertientes. Su longitud es de 20 Km., y su sección varía entre 7 y 12 m^2 .

Este sistema de drenaje, constituido por los canales perimetrales y el entubamiento, forma el drenaje general de la Escombrera Exterior.



Por otra parte, fue preciso contemplar, en la propia Escombrera, una red de drenaje y pendientes adecuadas para evitar la acumulación de aguas en lugares no deseados y que al mismo tiempo proporcione un control sobre la erosión. Por ello se realizó una división por niveles, coincidiendo con los que marcaba el laboreo. Estos niveles, que están formados por taludes parciales y bermas, permiten un mejor control de la escorrentía del talud general.



Para limitar la capacidad erosiva de la escorrentía, los taludes parciales se construyeron con una pendiente del 20% y una proyección horizontal máxima de 100 m. Las bermas tienen una anchura de unos 100 m. y una pendiente en sentido longitudinal del 2% que vierte hacia el Este ó el Oeste en función del drenaje general de la Escombrera.

En cada nivel existe una cuneta al pie del talud parcial que recoge las aguas de escorrentía del talud y de la berma.

Paralelamente a la cuneta y generalmente al otro lado de la berma, discurre una pista para el acceso a los distintos niveles. En las cabeceras de los taludes parciales se han dispuesto muretes de tierra para evitar que las aguas del nivel caigan hacia el talud siguiente.



3.4.- RESTAURACIÓN

Los trabajos de restauración de la Escombrera están orientados a la consecución de diversos objetivos, entre los que destacan:

- Creación de una cubierta vegetal estable que controle la erosión y la calidad del agua de escorrentía y propicie la formación de un suelo productivo.
- Recuperación del paisaje, alterado por las labores mineras.
- Recuperación de los usos del suelo anteriores a la explotación o incluso mejorarlos si se dan las condiciones.

Para alcanzar estos objetivos es necesario superar una serie de condicionantes que están acentuados por las características especiales de este yacimiento, el cual fue constituido en un medio reductor con

formación de sulfuros, que confieren fuerte acidez a un gran porcentaje de los estériles durante su oxidación a la intemperie.

Estos sulfuros se encuentran asociados, principalmente, a la materia carbonosa de los sedimentos arcillosos y a zonas de fracturación en el caso de las pizarras. Se puede asegurar que cualquier cubierta vegetal establecida sobre superficies construidas con estos materiales desaparece rápidamente al entrar en acción el proceso oxidativo de la pirita.

Esta oxidación es tan violenta que en cuestión de meses el pH puede bajar de 7 a 2 ó 3.

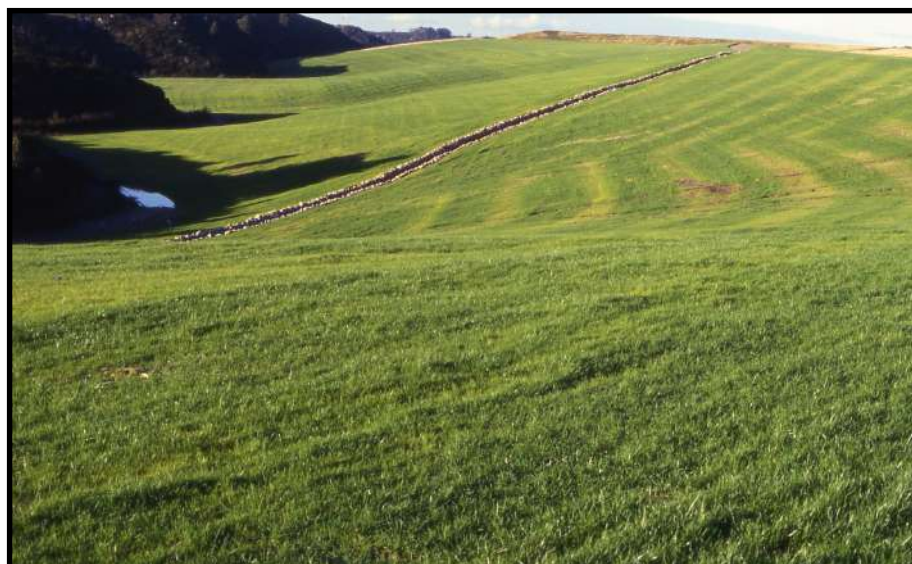


Por este motivo es fundamental ejecutar los vertidos de los estériles de manera selectiva como primer paso en el proceso de restauración.

El método de laboreo de la Mina, con la existencia de un Nudo de Transferencia donde confluyen todos los materiales de excavación, ha posibilitado la gestión y selección de estos materiales para su adecuada disposición en las superficies finales de la Escombrera.



Las superficies generadas a partir de los estériles seleccionados, permite la implantación y desarrollo de una cubierta vegetal estable en el tiempo, cuyo proceso evolutivo puede incrementarse de manera importante si se incorpora una capa de tierra vegetal. Esta solución asegura la implantación y acelera la formación de un suelo productivo.



A pesar de estas medidas selectivas puede ocurrir que, debido a la heterogénea distribución de los sulfuros y la relativa rigidez de la explotación, aparezcan superficies finales ejecutadas con estériles no seleccionados y por tanto con elevados porcentajes de azufre.

En estos casos la neutralización se consigue con la adición de cenizas procedentes de la combustión del lignito. Se ha demostrado de manera práctica que debido al carácter básico de las cenizas, su incorporación a las superficies de mayor acidez, produce una mejora del sustrato y facilita el establecimiento de la cubierta vegetal.

De las 1.150 hectáreas que conforman la Escombrera Exterior, hasta 2004 han sido tratadas 1.070, de las cuales 850 están totalmente restauradas y 220 se encuentran en fase de restauración (corrección de problemas, asentamiento de vegetación, etc.). Las restantes 80 se tratarán entre los años 2005 y 2006.



Año 1991



Año 1992



Año 1994



Año 2002

La restauración de estas 1.070 hectáreas ha supuesto la realización de 4.000 analíticas, la utilización de tres millones de metros cúbicos de tierra vegetal o estériles seleccionados, la construcción de 62 Km. de pistas y 53 Km. de cunetas, la aplicación de 40.000 metros cúbicos de abonos orgánicos, 500.000 Kg. de abono químico, 115.000 Kg. de semillas y la plantación de 550.000 árboles.

Al final de la restauración, coexistirán diferentes estratos estructurados de la manera siguiente:

Arbolado	65%
Matorral	12%
Pastizal	21%
Charcas	2%

La restauración de la Escombrera Exterior finalizará cuando los programas de seguimiento confirmen una correcta evolución del suelo, una buena calidad de las aguas de escorrentía y una vegetación autosostenible y diversa que evolucione de forma natural y sirva como sustento y refugio a la numerosa fauna existente.

4.- AGUAS DE LA EXPLOTACIÓN. PLANTA DE TRATAMIENTO.

El agua evacuada, tanto de la Mina como de la Escombrera, está fuertemente afectada por los procesos de oxidación de los sulfuros contenidos en el material excavado, siendo las aguas resultantes fuertemente ácidas, con elevados niveles de sólidos en suspensión y metales en disolución.

A causa de este problema, que podría afectar gravemente al medio biológico del cauce receptor así como a los usos del mismo, se decidió realizar un tratamiento específico que comprende procesos de neutralización, coagulación-floculación y separación de precipitados y sólidos en suspensión.

Para ello, teniendo en cuenta la precipitación media anual de 1.660 l/m², se construyó una depuradora de las características siguientes:

- ✓ Para un caudal de 0,3-15 m³/s con un contenido máximo de sólidos en suspensión de 22.000 mg/l, la calidad del efluente es:

PH	7 - 8,7
Sólidos suspensión (máx).....	30 mg/l
Fe soluble (máx)	0,1 mg/l

<i>Fe</i> total (máx)	1 mg/l
<i>Al</i> total (máx)	0,6 mg/l
<i>Mn</i> soluble (máx)	1,3 mg/l

El caudal medio anual tratado asciende a 53 Hm³.

5. - AGUAS DE LA ESCOMBRERA EXTERIOR

La gestión que se realiza sobre las aguas afectadas por la explotación hace posible el laboreo, la estabilidad de los taludes y, gracias a la planta de tratamiento, se evita el impacto sobre la calidad y recursos acuícolas del río Eume que actúa como cauce receptor.

No obstante, la Escombrera Exterior está sometida a los efectos químicos de sus aguas de escorrentía y a las que afloran, bien de forma puntual como las surgencias o de forma difusa por la aparición en superficie del nivel freático, que puede afectar a grandes áreas impidiendo la implantación vegetal o, incluso, haciendo desaparecer comunidades vegetales bien establecidas.

Este problema, como ya se ha citado, se debe a la presencia de sulfuros en los estériles y a su permeabilidad, condicionada por escombrados de materiales permeables (pizarras) sobre materiales impermeables (arcillas).

La acción de las surgencias se corrige mediante medidas preventivas consistentes en un apilado selectivo de los materiales y medidas correctoras enfocadas a la localización del núcleo generador de la surgencia y al aislamiento de toda la zona afectada. Esto último se consigue mediante drenes que conducen el agua hasta las cunetas y mediante la superposición de capas de arcilla, grava y tierra vegetal a lo largo de toda la zona afectada. La implantación posterior de una cubierta vegetal no requiere ningún tratamiento especial.

En síntesis, para reducir estos efectos, se lleva a cabo un programa de actuaciones que incluye: selección de estériles, enmiendas, canalizaciones, sellados, vegetación, etc., cuyos resultados se controlan mediante el seguimiento de la calidad de las aguas circulantes y el estudio del suelo.

5.1.- CAMPAÑA DE ANÁLISIS 1990-1992

Durante el período 1990-1992 se realizó una campaña de muestreo de las aguas que circulaban por superficies prácticamente sin restauración y afectadas por operaciones mineras en curso. Esta campaña, con muestreos quincenales, se llevó a cabo en 20 puntos, 19 de los cuales correspondían a superficies interiores de la Escombrera y 1 al Canal Perimetral Sur. Este último punto también recoge aguas no afectadas por la explotación.

Las conclusiones de esta campaña de muestreo son las siguientes:

✓ Aguas de superficies sin restaurar

- La mayoría de las aguas tenían condiciones de extrema acidez con valores de pH entre 2,5 y 3,5 y condiciones oxidantes. Asimismo tenían una conductividad muy alta (valores de hasta 6000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) y elevados contenidos de los productos derivados de la oxidación de la pirita: sulfatos entre 1.000-5.000 mg/l y concentraciones de hierro disuelto con valores entre 750 y 1.042 mg/l y aluminio entre 57 y 155 mg/l.
- Presentaban concentraciones elevadas de metales pesados con valores de manganeso entre 12 y 97,7 mg/l, níquel entre 1,71 y 3,02 mg/l, cobalto entre 23 y 170 mg/l, zinc entre 3,08 y 4,84 mg/l, cadmio entre 5,0 y 55,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ y plomo entre 1,8 y 2,5 $\mu\text{g}/\text{l}$.
- Cabe destacar un comportamiento que tiene una clara relación con la distribución de las precipitaciones y las variaciones de temperatura. Se trata de un descenso de pH en la época estival que lleva asociado un aumento de concentración de hierro y sulfatos.
- Se observan descensos bruscos, pero puntuales, del pH, posiblemente asociados a las primeras lluvias caídas después de un período seco.
- En los puntos de surgencias, las variaciones temporales son poco manifiestas, presentando características más o menos homogéneas a lo largo del período. En algunas de éstas se ha detectado una cierta mejoría de la calidad de las aguas con el paso del tiempo, reflejada en una tendencia ascendente

del pH y descenso de concentración de sulfatos y hierro; este hecho indica posiblemente un parcial agotamiento del sistema de oxidación.

✓ **Muestras del Canal Perimetral Sur (CSE)**

Este punto capta aguas de la Escombrera correspondientes a superficies en operación, por tanto, sin restaurar y aguas naturales.

Superficie sin restaurar	693 ha (56%)
Superficie natural	554 ha (44%)

- En general, las aguas son de carácter ácido (pH 3,5 y 4,0) y de muy mala calidad. La conductividad oscila entre 980 y 1630 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y los sulfatos entre 520 y 1200 mg/l; el hierro disuelto tiene una concentración entre 45,8 y 112 mg/l y el aluminio está entre 4,5 y 18,1 mg/l. Los metales pesados también presentan valores muy altos. El manganeso entre 5,3 y 10,2 mg/l, el níquel ($0,7 \div 1,8$ mg/l), cobalto ($10 \div 60$ $\mu\text{g}/\text{l}$), zinc ($0,51 \div 1,79$ mg/l), cadmio ($4,2 \div 7,5$ $\mu\text{g}/\text{l}$) y plomo ($2,0 \div 13,4$ $\mu\text{g}/\text{l}$).
- A pesar de su mala calidad, se constata una importante mejora respecto a las aguas afectadas íntegramente por el laboreo. Como es natural, esta mejora se debe a la dilución con las aguas naturales.

5.2.- CAMPAÑA DE ANÁLISIS 1998 - 2004

Posteriormente, se inició una segunda campaña de análisis en 1998 que continúa en la actualidad. Se realiza con muestreo quincenal sobre 5 puntos de control, 3 de los cuales recogen exclusivamente aguas de Escombrera correspondientes a zonas restauradas y otros 2 que se sitúan en los canales perimetrales y, por tanto, también captan aguas naturales. Uno de estos últimos es coincidente con el CSE de la campaña anterior, mientras que el otro se ubica en el Canal Norte de la Escombrera (CNE). Los resultados que se presentan a continuación corresponden únicamente al periodo 2002-2004.

✓ Canal Perimetral Sur (CSE)

Como ya se ha mencionado anteriormente, este punto es coincidente con el estudiado en la campaña 1990-1992. En el momento actual, las aguas que capta corresponden a las siguientes zonas:

Superficie natural	554 ha (45%)
Superficie restaurada	665 ha (53%)
Superficie sin restaurar	28 ha (2%)

Los resultados obtenidos presentan una variabilidad baja. Los valores medios son para el pH 6,59, la conductividad es 1072 $\mu\text{s/cm}$, los sulfatos 606 mg/l y el hierro 2,75 mg/l. El valor medio del aluminio es 0,19 mg/l, del manganeso 2,69 mg/l, de níquel 0,20 mg/l, cobalto 0,12 $\mu\text{g/l}$, zinc 0,17 mg/l, cadmio 0,18 $\mu\text{g/l}$ y plomo 0,13 $\mu\text{g/l}$.

Si se comparan estos datos con los obtenidos en la primera campaña se observa una importantísima mejora en la calidad de las aguas reflejada en un ascenso de 3 puntos en el pH y una descenso apreciable en SO_4 , Fe, Al, Mn y otros metales.

✓ Canal Perimetral Norte (CNE)

Al igual que el punto CSE, capta una mezcla de aguas procedentes de zonas restauradas, zonas no restauradas y áreas naturales colindantes con la Escombrera, en la siguiente cuantía:

Superficie natural	596 ha (56%)
Superficie restaurada	402 ha (38%)
Superficie no restaurada	65 ha (6%)

Los valores obtenidos en este punto de control se aproximan a los obtenidos en el Canal Sur pero en general caracterizan aguas de peor calidad. Así el pH tiene un valor de 5,89, el hierro una concentración de 3,14 mg/l, el aluminio, 0,46 mg/l y el manganeso 4,23 mg/l.

Dado que el estado de la vegetación de la zona restaurada correspondiente a este punto es superior a la del punto CSE, podría pensarse que alguno de los valores obtenidos deberían ser mejores, pero, posiblemente la negativa influencia que ejerce la superficie no restaurada lo impide.

✓ Aguas de Zonas Restauradas

La campaña se centra en tres puntos situados en la vertiente norte de la Escombrera captando cada uno de ellos una superficie aproximada de 20 hectáreas, restaurada entre 1992 y 1993.

La vegetación que presentan es densa y no se percibe ningún síntoma de regresión, pudiendo considerarse áreas representativas de la evolución de la Escombrera a medio plazo.

Los valores obtenidos del análisis de aguas muestran una clara uniformidad a lo largo del tiempo: el pH oscila entre 7,1 y 8,2 en el nivel (a), entre 6,9 y 8,2 en el nivel (b) y entre 6 y 7,8 en el nivel (c), tendiendo a estabilizarse en torno al valor 7 en los tres casos.

Los elevados valores de pH se explican porque algunas zonas de estas superficies fueron ejecutadas con materiales seleccionados mezclados con cenizas. La elevada basicidad de las últimas hace que las aguas de escorrentía sigan en esta línea y marquen un pH neutro-básico. Los demás parámetros analizados muestran unos valores cercanos a las aguas naturales.

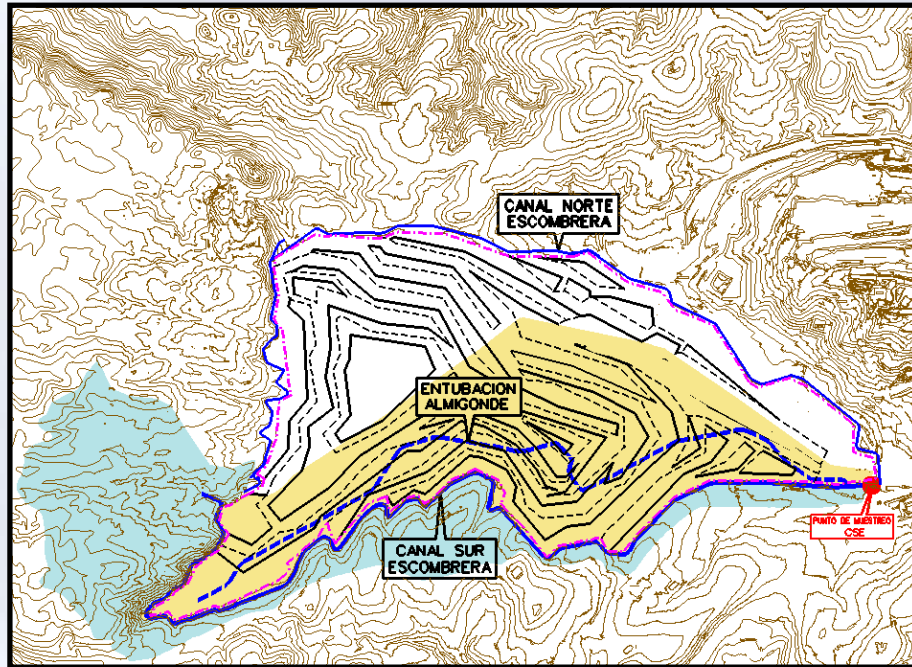


6. - CONCLUSIONES

- ✓ Para posibilitar el laboreo de la Escombrera Exterior de la Mina de As Pontes fue necesario realizar una importante infraestructura de drenaje con el fin de canalizar las aguas y conducir las hasta una planta de tratamiento previo a su vertido al cauce receptor.
- ✓ Los materiales manejados contienen sulfuros que provocan acidificaciones elevadas de las aguas que pueden impedir y destruir la cubierta vegetal. Esta acidificación se constata en las aguas que circulan sobre superficies no restauradas y de modo especial en las que continúan en operación.
- ✓ La adecuada gestión de los materiales de escombrera que se depositan en las superficies finales, minimiza los procesos de acidificación y cuando se implanta la cubierta vegetal se constata una mejora continua en la calidad de las aguas que está en consonancia con el nivel de restauración.
- ✓ La conclusión final es que, una vez completada la restauración y transcurrido un periodo relativamente corto, la calidad de las aguas de escorrentía de la Escombrera Exterior de la Mina de As Pontes será semejante a las que circulan por superficies naturales.



CAMPAÑA DE MUESTREO 1990 - 1992



CUENCA DEL PUNTO CSE

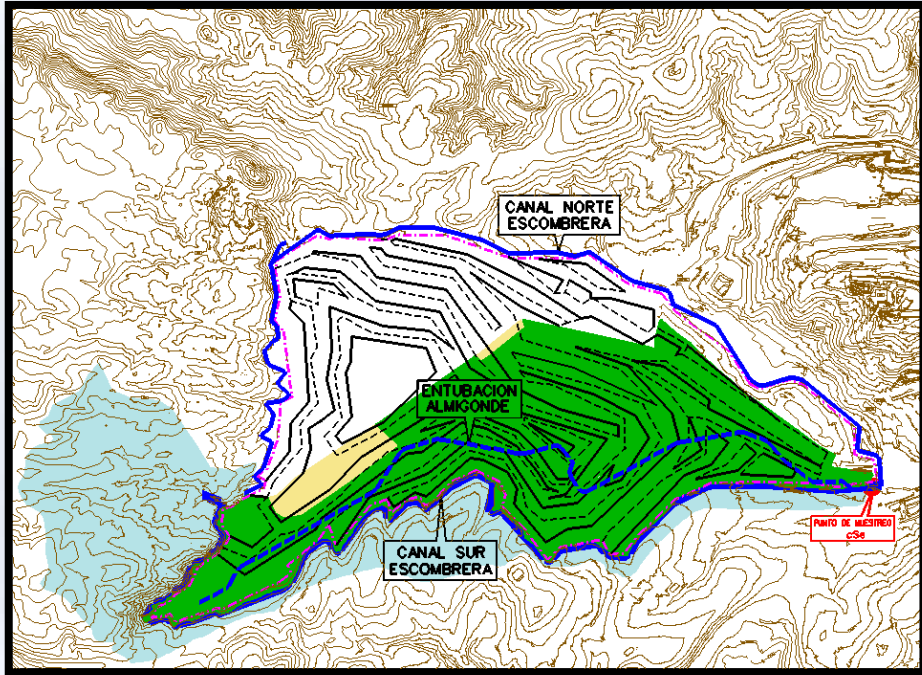
SUPERFICIE NATURAL 554 ha (44 %)

SUPERFICIE RESTAURADA -- ha (-- %)

SUPERFICIE SIN RESTAURAR 693 ha (56 %)

PARÁMETROS		AGUAS DE SUPERFICIES SIN RESTAURAR	PUNTO CSE
pH		2,5 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0
Conductividad	µs/cm	1700 ÷ 5510	980 ÷ 1630
SO ₄ ⁼	mg/l	1012 ÷ 4900	520 ÷ 1200
Fe _T	mg/l	750 ÷ 1042	45,8 ÷ 112
Al	mg/l	57 ÷ 155	4,5 ÷ 18,10
Mn	mg/l	12,3 ÷ 97,7	5,3 ÷ 10,2
Ni	mg/l	1,71 ÷ 3,02	0,7 ÷ 1,8
Zn	mg/l	3,08 ÷ 4,84	0,51 ÷ 1,79
Co	µg/l	23 ÷ 170	10 ÷ 60
Cd	µg/l	5,0 ÷ 55,5	4,2 ÷ 7,5
Pb	µg/l	1,8 ÷ 2,5	2,0 ÷ 13,4

CAMPAÑA DE MUESTREO 1998 - 2004



CUENCA DEL PUNTO CSE

SUPERFICIE NATURAL 554 ha (45 %)

SUPERFICIE RESTAURADA 665 ha (53 %)

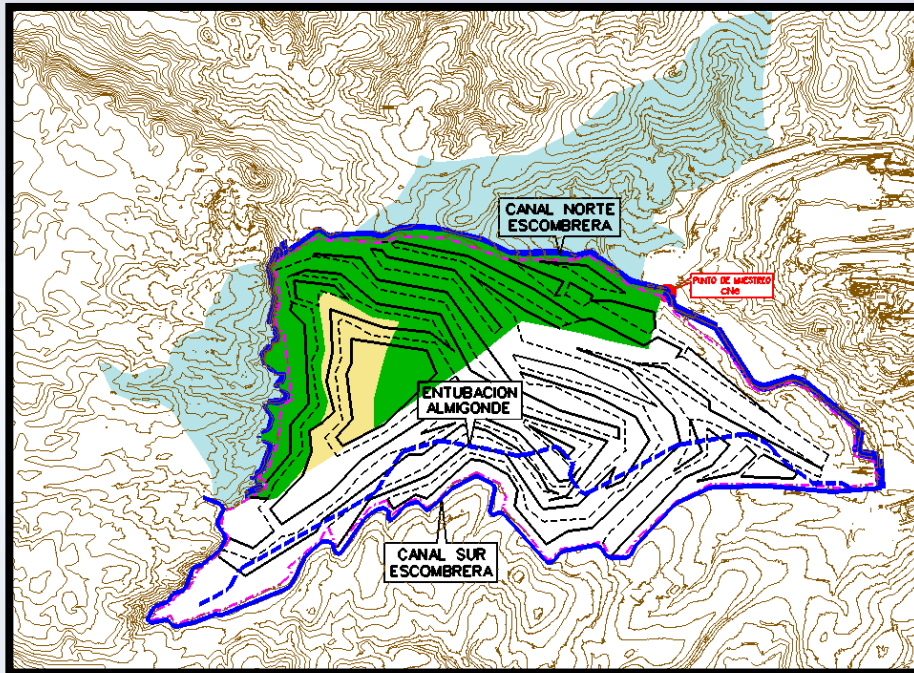
SUPERFICIE SIN RESTAURAR 28 ha (2 %)

DATOS 2002 - 2004

PARÁMETROS		AGUAS DE SUPERFICIES RESTAURADAS	PUNTO CSE
pH		7,49	6,59
Conductividad	μs/cm	625	1072,90
SO ₄ ⁼ mg / l	mg/l	259	606,84
Fe _T	mg/l	< 0,01	2,75
Al	mg/l	< 0,01	0,19
Mn	mg/l	< 0,01	2,69
Ni	mg/l	< 0,1	0,20
Zn	mg/l	< 0,01	0,17
Co	μg/l	< 0,01	0,12
Cd	μg/l	< 0,1	0,18
Pb	μg/l	< 0,1	0,13

VALORES MEDIOS

CAMPAÑA DE MUESTREO 1998 - 2004



CUENCA DEL PUNTO CNE

SUPERFICIE NATURAL 596 ha (56 %)

SUPERFICIE RESTAURADA 402 ha (38 %)

SUPERFICIE SIN RESTAURAR 65 ha (6 %)

DATOS 2002 - 2004

PARÁMETROS		PUNTO CNE
pH		5.89
Conductividad	μs/cm	879,07
SO ₄ ⁼ mg / l	mg/l	492,62
Fe _T	mg/l	3,14
Al	mg/l	0,46
Mn	mg/l	4,23
Ni	mg/l	0,10
Zn	mg/l	0,16
Co	μg/l	0,09
Cd	μg/l	0,19
Pb	μg/l	0,12

VALORES MEDIOS



UNION FENOSA

LIGNITOS DE MEIRAMA

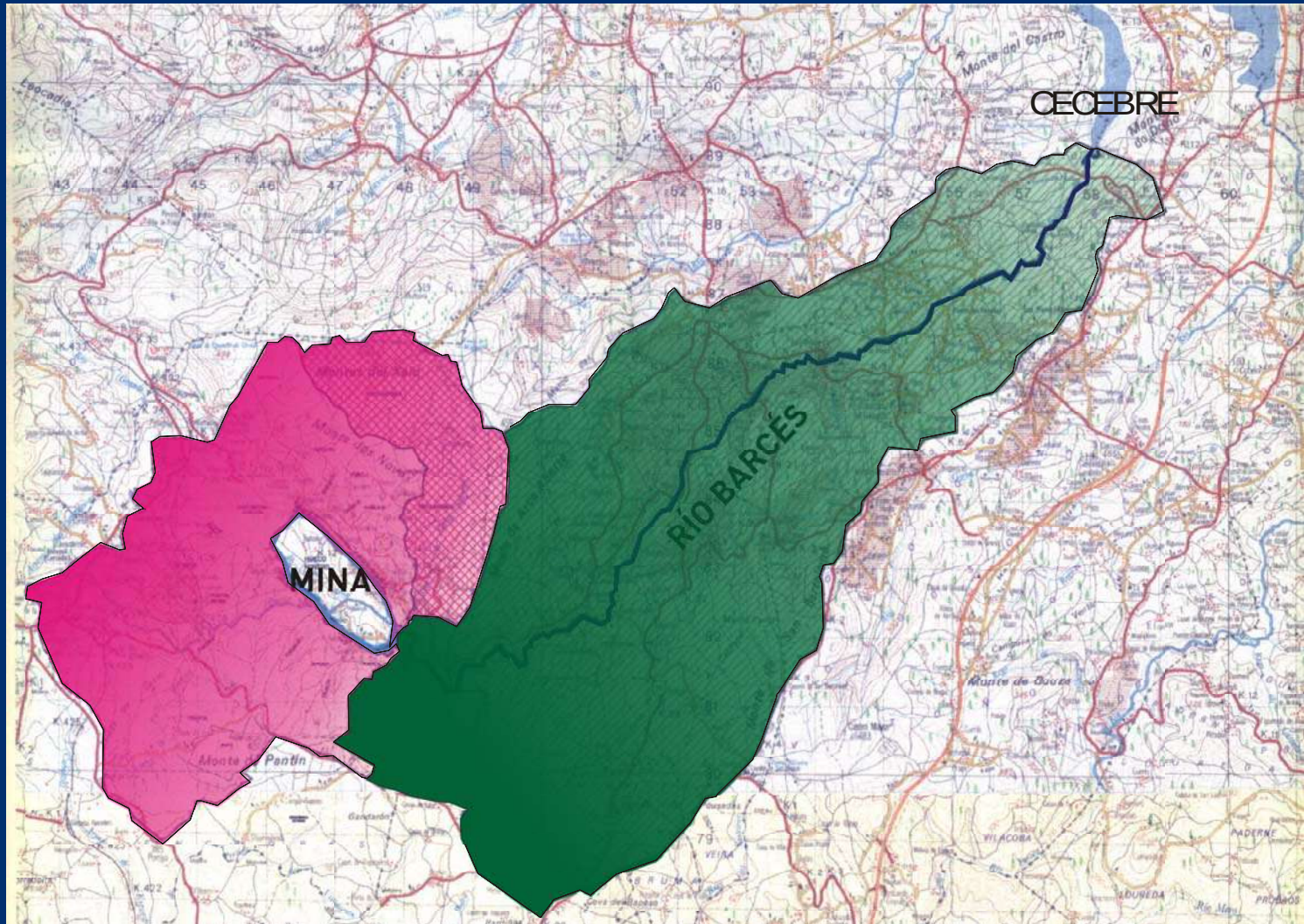
cierre técnico de la mina de meirama

10 de marzo de 2005

Vista aérea del terreno original

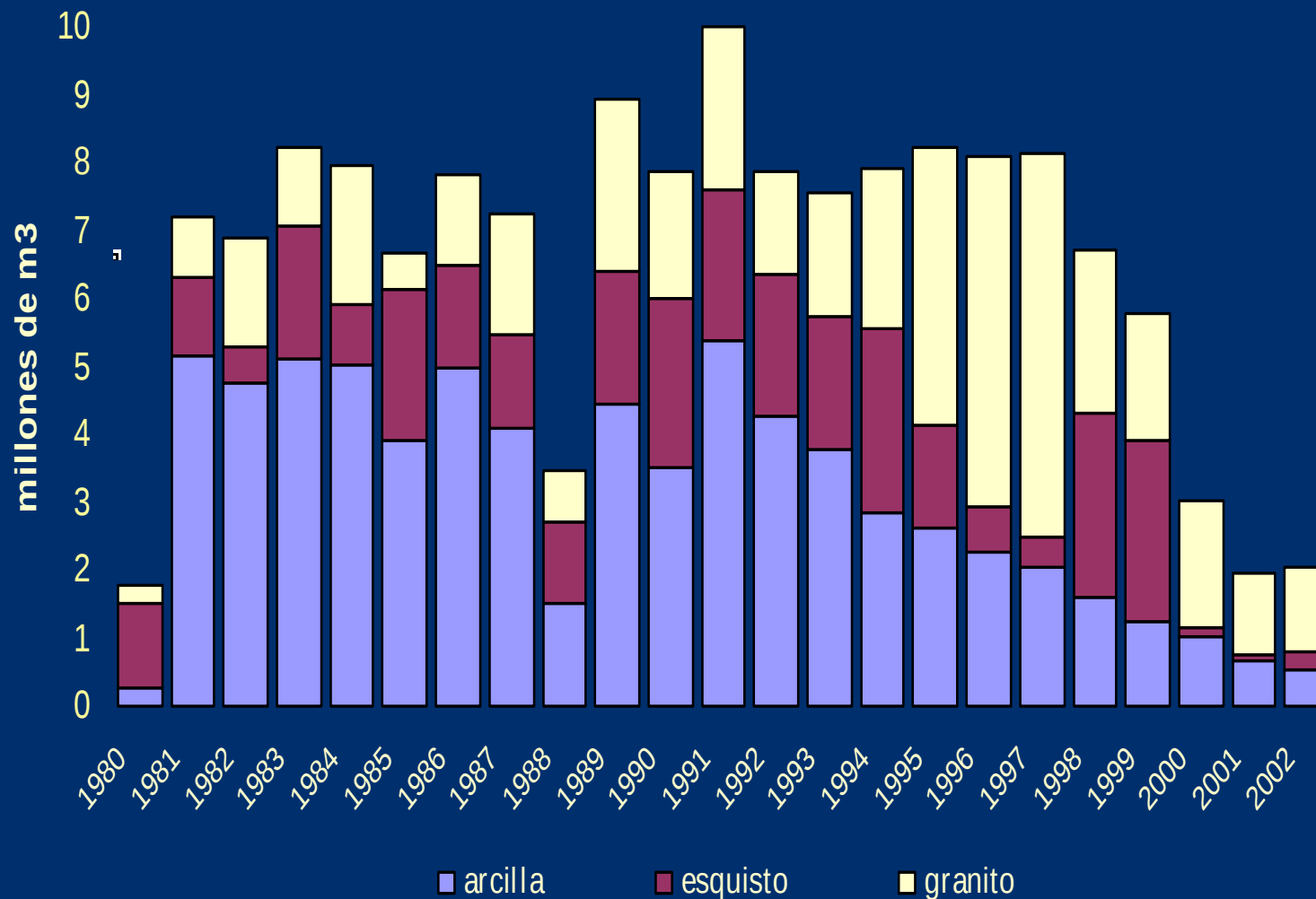


Cuenca del Barcés

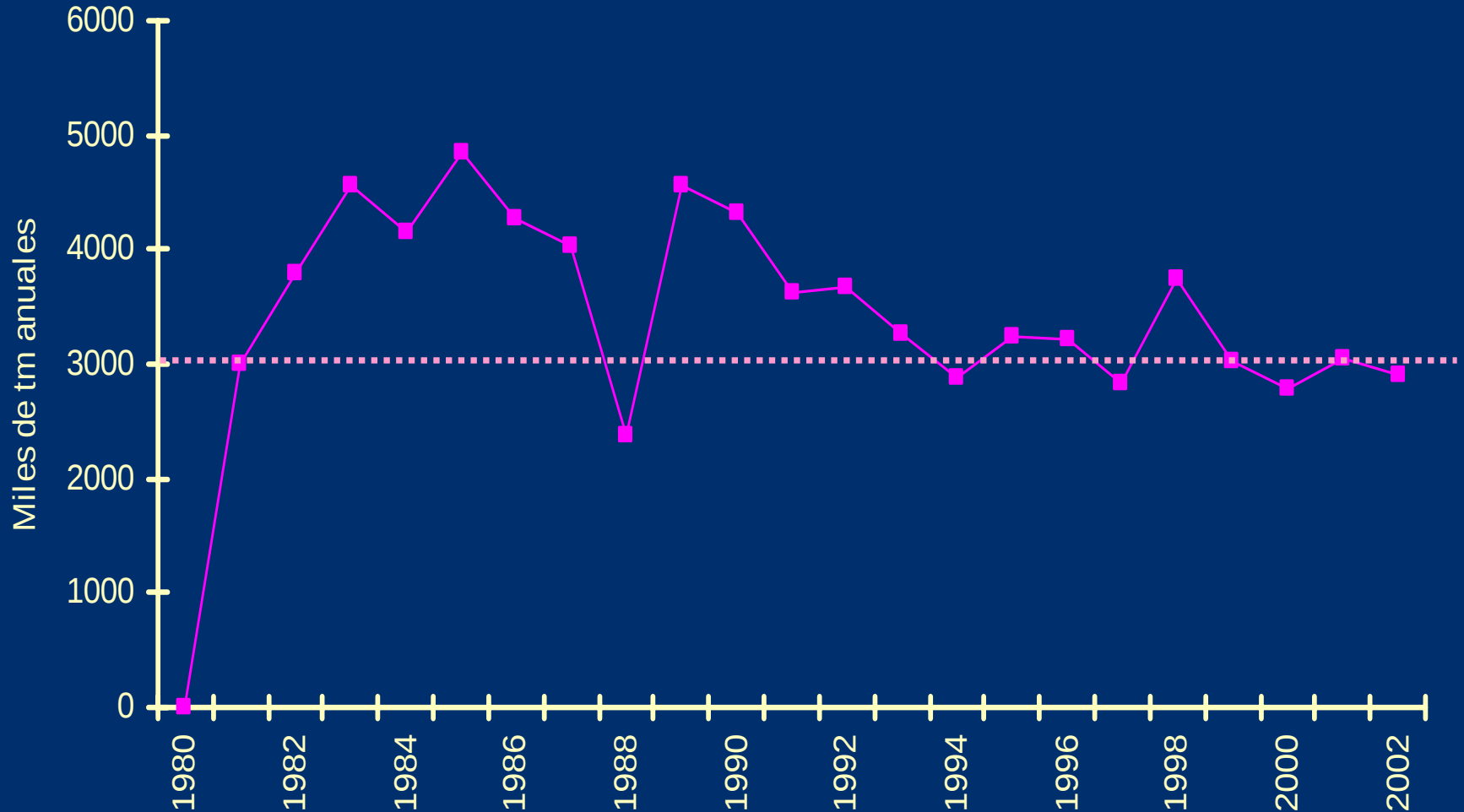




Volumen de estéril extraído anualmente



Producción anual de lignito



Características de la explotación

Trabajos de excavación



Uso de rotopalas y transporte por cinta y excavadoras y transporte con dumpers mineros

Características de la explotación

Parque de carbón



Vista aérea de la situación actual



Simulación de la situación futura



Estudio del abandono de la mina





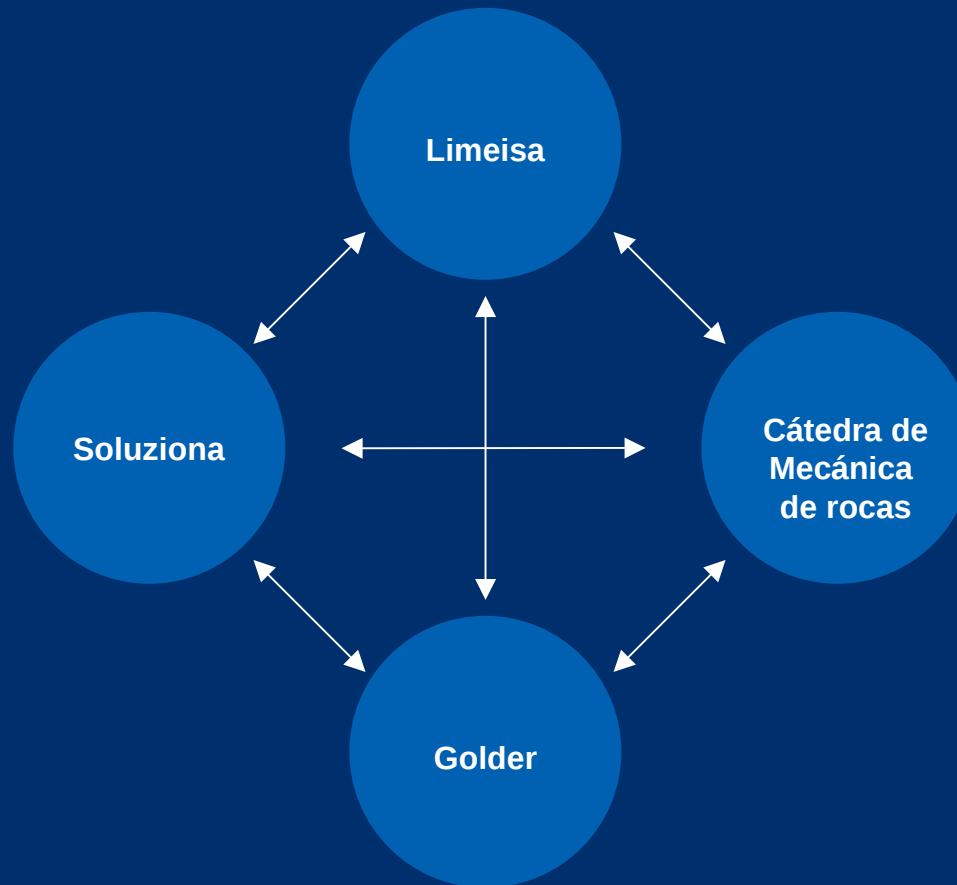
UNION FENOSA

LIGNITOS DE MEIRAMA

plan de cierre técnico de la mina de meirama

VIDEO

Organización del Proyecto



Antecedentes al estudio técnico



- ✓ Creada en 1960 en Canadá.
- ✓ Proyectos en 140 países.
- ✓ Actualmente 80 oficinas en el mundo, con 1.900 empleados (700 ingenieros) que presentan 11.000 proyectos anuales.



Alternativas propuestas

GRUPO I

Mantener el hueco en las condiciones actuales (Vacío y seco)



- ✓ Soluciones no sostenibles sin intervención permanente
- ✓ Restauración, técnicamente, muy difícil
- ✓ Económicamente inviables

GRUPO II

Relleno con materiales sólidos



- ✓ Mantenimiento de todo el sistema de bombeo y depuración
- ✓ Decenas de años hasta su restauración definitiva
- ✓ Lixiviados

GRUPO III

Relleno con agua (Lago artificial)



- ✓ Solución sostenible
- ✓ Geológicamente estable
- ✓ Evolución hacia un entorno natural integrado
- ✓ Medioambientalmente aceptable

Estudio técnico.

INDICE DEL PROYECTO

- SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS
- BALANCE HÍDRICO
- HIDROGEOLOGIA
 - Selección del modelo
 - Calibración del modelo
 - Resultado e Interpretación del modelo
- CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS Y DE LOS SUELOS
 - Muestreo y analítica
 - Modelo hidroquímico
 - Modelo del lago
 - Conclusiones
- INFORME GENERAL DE GEOTECNIA
 - Estudios geológicos y geotécnicos.
 - Factores que afectan la estabilidad de los taludes.
 - Estabilidad de los taludes en el periodo anterior al cierre
 - Estabilidad en la fase de llenado – post cierre
 - Consideraciones generales
 - Actividades futuras
- ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES
 - Escombrera interior
 - Orillas

Estudio técnico.



Golder Associates Europe Ltd

1st Floor Clyde House
Reform Road
Maidenhead

Berkshire, SL6 8BY
Tel: [44] (0)1628 771731
Fax: [44] (0)1628 770699
E-mail: golder_uk@golder.com
<http://www.golder.com>

Golder Associates Europe Ltd

1st Floor Clyde House
Reform Road
Maidenhead

Berkshire, SL6 8BY
Tel: [44] (0)1628 771731
Fax: [44] (0)1628 770699
E-mail: golder_uk@golder.com
<http://www.golder.com>

INFORME

INVESTIGACIONES PARA EL CIERRE. EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA . MINA DE MEIRAMA

INFORME

LIMEISA closure plan. Slope stabilisation

Emitido para:

Lignitos de Meirama SA (LIMEISA)
Avenida Linares Rivas 18
15005 La Coruña
España

MINA DE MEIRAMA INVESTIGACIONES PARA EL CIERRE ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES EN EL ÁREA MINERA

Emitido para:

Lignitos de Meirama SA (LIMEISA)
Avenida Linares Rivas 18
15005 La Coruña
España

Golder Associates Europe Ltd

1st Floor Clyde House
Reform Road
Maidenhead

Berkshire, SL6 8BY
Tel: [44] (0)1628 771731
Fax: [44] (0)1628 770699
E-mail: golder_uk@golder.com
<http://www.golder.com>

MINA DE MEIRAMA INVESTIGACIONES PARA EL CIERRE BALANCE DE AGUAS. HIDROQUÍMICA

Estudio técnico.

INGENIERIA DE DETALLE SOLUZIONA

- Anexo I. Estudio previos de la generación de **aguas ácidas** en la mina de Meirama. (*Soluziona calidad y medioambiente*, noviembre 2000))
- Anexo II. **Estudio Hidrológico** del entorno de la mina de Meirama. (*Soluziona calidad y medioambiente*, abril 2001.
- Anexo III. **Análisis de aguas** superficiales de la mina de Meirama (*Soluziona calidad y medioambiente* , enero 2002).
- Anexo IV. Estudio del **caudal ecológico** del río Barcés (*Soluziona Ingeniería*, enero 2002).
- Anexo V. **Estudio hidrológico** y de avenidas de la mina de Meirama (*Soluziona Ingeniería*, enero 2002)
- Anexo VI. **Sistemática de aforos** del entorno de la mina de Meirama. (*Soluziona calidad y medioambiente* , febrero 2002)
- Anexo VII. Revisión y análisis del registro de niveles de los **aportes hidráulicos** del entorno de la mina de Meirama (*Soluziona calidad y medioambiente* , diciembre 2002).
- Anexo VIII. Descripción de la **cuenca hidrológica del río Barcés**. Relación con la formación del lago en la mina de Meirama (*Soluziona calidad y medioambiente* , diciembre 2002).

Estudio técnico.

INGENIERIA DE APOYO

Escuela Superior de Ingenieros de Minas de Madrid

Estudios Geotécnicos

- Anexo IX. Estudio del **comportamiento al vuelco-deslizamiento** de la zona superficial del talud Noroeste de la mina de Meirama (*Escuela Superior de Ingenieros de minas de Madrid, marzo 2001*).
- Anexo X. Estudio del **comportamiento del talud Noroeste** de la mina de Meirama, mediante un modelo numérico de bloques discretos (*Escuela Superior de Ingenieros de minas de Madrid, enero 2002*).
- Anexo XI. **Simulación numérica del comportamiento del talud** en el perfil 19 del borde Noroeste de la mina de Meirama (*Escuela Superior de Ingenieros de minas de Madrid, julio 2002*).
- Anexo XII. **Simulación numérica del comportamiento del talud en el perfil 19** del borde Noroeste de la mina de Meirama después de haber reducido su pendiente (*Escuela Superior de Ingenieros de minas de Madrid, octubre 2002*).

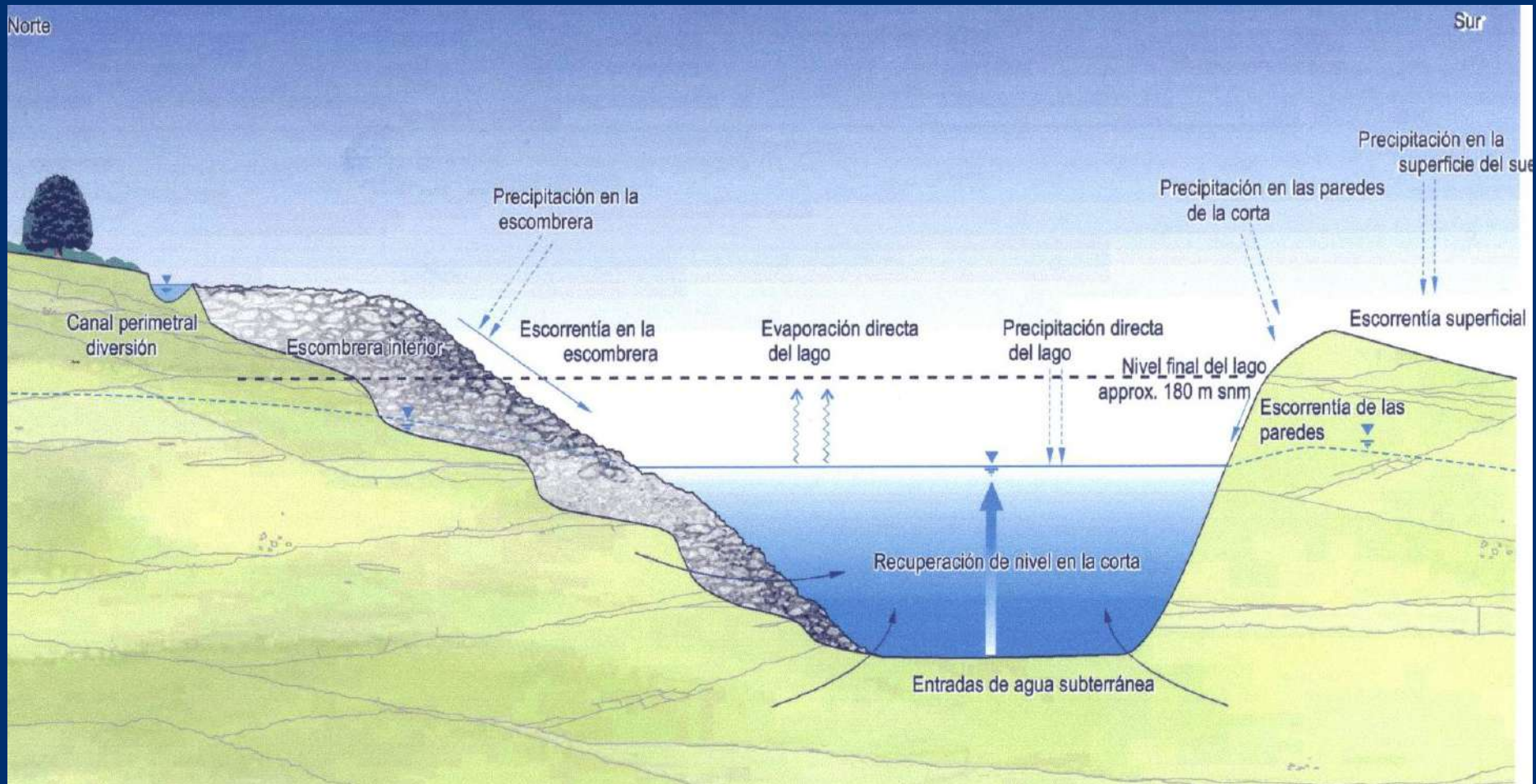
Balance hídrico

Estimar el tiempo de llenado del hueco minero.

Determinar ratios de entrada y salida de agua, necesarios para el estudio de calidad:

- Escorrentía superficial
- Infiltraciones subterráneas.
- Lluvia directa y evaporación en el lago

Balance hídrico



Cuenca del Barcés



Balance hídrico

ENTRADAS DEL MODELO

- Datos climáticos (pluviometría, temperaturas, etc.)
- Evaporación del agua.
- Escorrentía superficial y subterránea, tanto en terreno natural como en escombrera interior.
- Caudales mínimos en tiempos de poca lluvia
- Caudal ecológico Río Barcés

Balance hídrico

RESULTADOS DEL MODELO

CAPACIDAD HUECO	146 Mm³
PROCEDENCIA APORTES	%
Escorrentía superficial	72,96
Escorrentía subterránea	21,28
Lluvia directa	5,75
Total	100,00
VOLUMEN DESCARGA ANUAL	25/30 Mm³

Balance hídrico

Resultados:

- Tiempo de llenado del lago entre 3,8 y 9,4 años.
- La escorrentía superficial, de buena calidad, es el principal aporte de agua al hueco (73%)
- Los caudales previstos de Enfesta y parcialmente la galería, aseguran todos los meses el caudal ecológico.

Balance hídrico

Cuenca Barcés

Mantener Caudal Ecológico. Medida temporal durante el llenado

- ✓ Mayor Caudal ecológico: ➡ **peor calidad aguas**
- ✓ Vaguada Enfesta íntegra y permanentemente al Barcés
- ✓ Afección a un tramo pequeño (en %):
4,1 % en superficie de cuencas de aportación
8,0 % en longitud de tramo de río afectado

Meses	Q.ecológico (m ³ /s)	%
enero	0,40	20,2
febrero	0,50	25,5
marzo	0,40	29,2
abril	0,30	31,6
mayo	0,24	34,3
junio	0,20	50,0
julio	0,20	83,3
agosto	0,17	100,0
septiembre	0,20	95,2
octubre	0,20	38,5
noviembre	0,30	28,6
diciembre	0,40	24,0

Balance hídrico

Máx. avenida periodo retorno 500 años: 135,9 m³/s,

Caudal instantáneo con aliviadero de 20 m: 18,4 m³/s

Incremento altura lámina de agua: 0,66 m

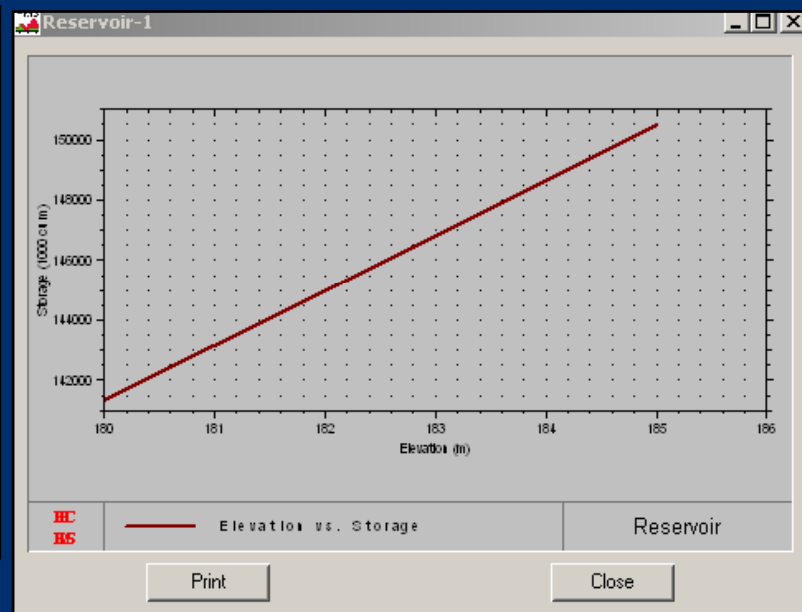
Elevation (m)	Storage (1000 cu m)
180.0	141326.3281
181.0	143125.3281
182.0	144940.7344
183.0	146772.4375
184.0	148620.3125
185.0	150484.2031

Method: Broadcrested Spillway

Crest Elevation (m): 180

Crest Width (m): 20

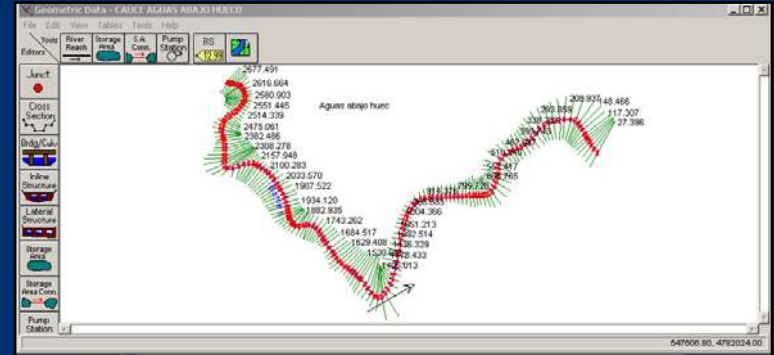
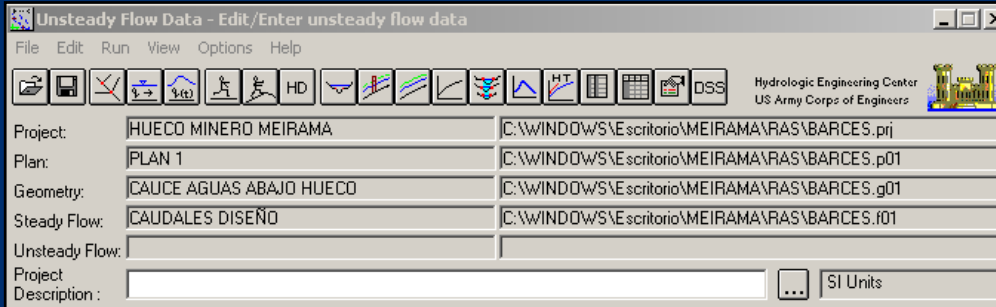
Discharge Coefficient: 1.7



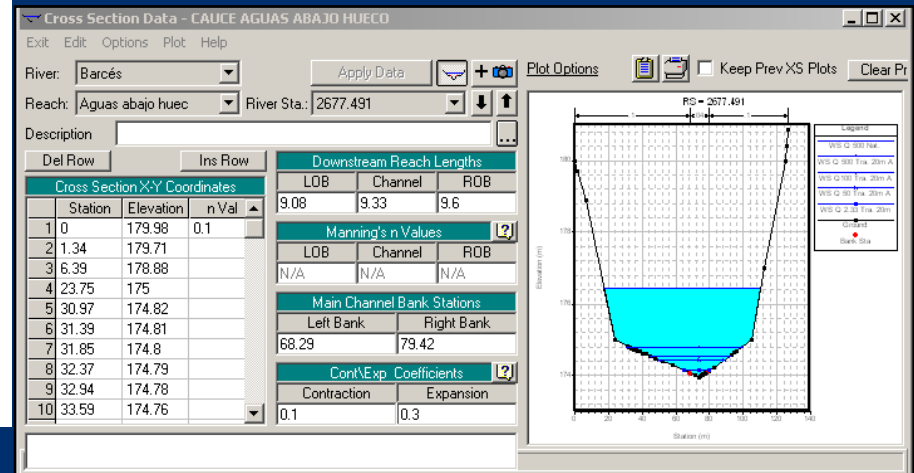
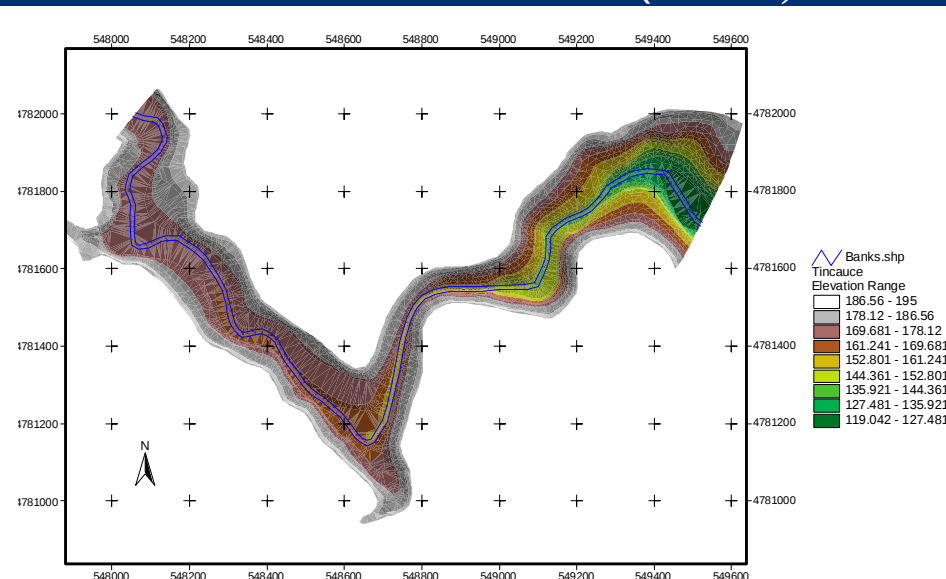
Balance hídrico

Modelo hidráulico HEC-RAS:

ALIVIADERO. EFECTO REGULADOR

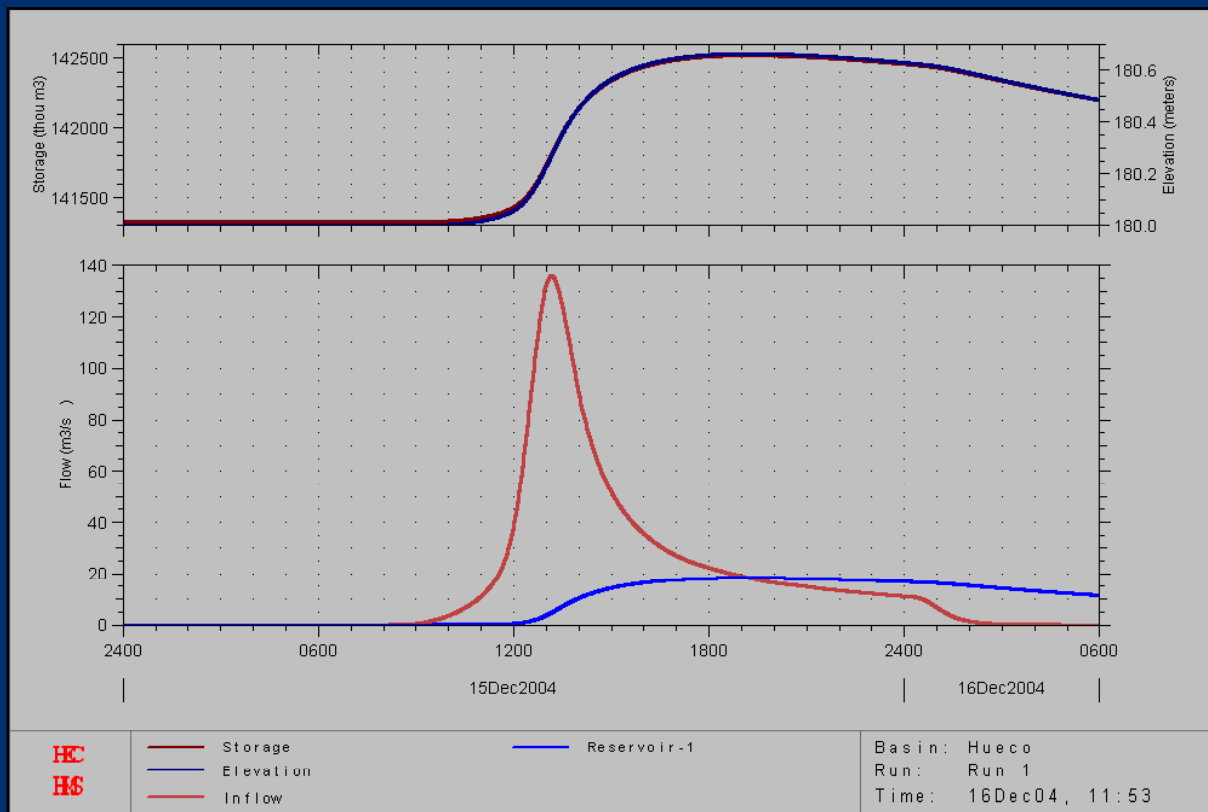


Tramo de cauce del río Barcés (2670 m) :



Balance hídrico

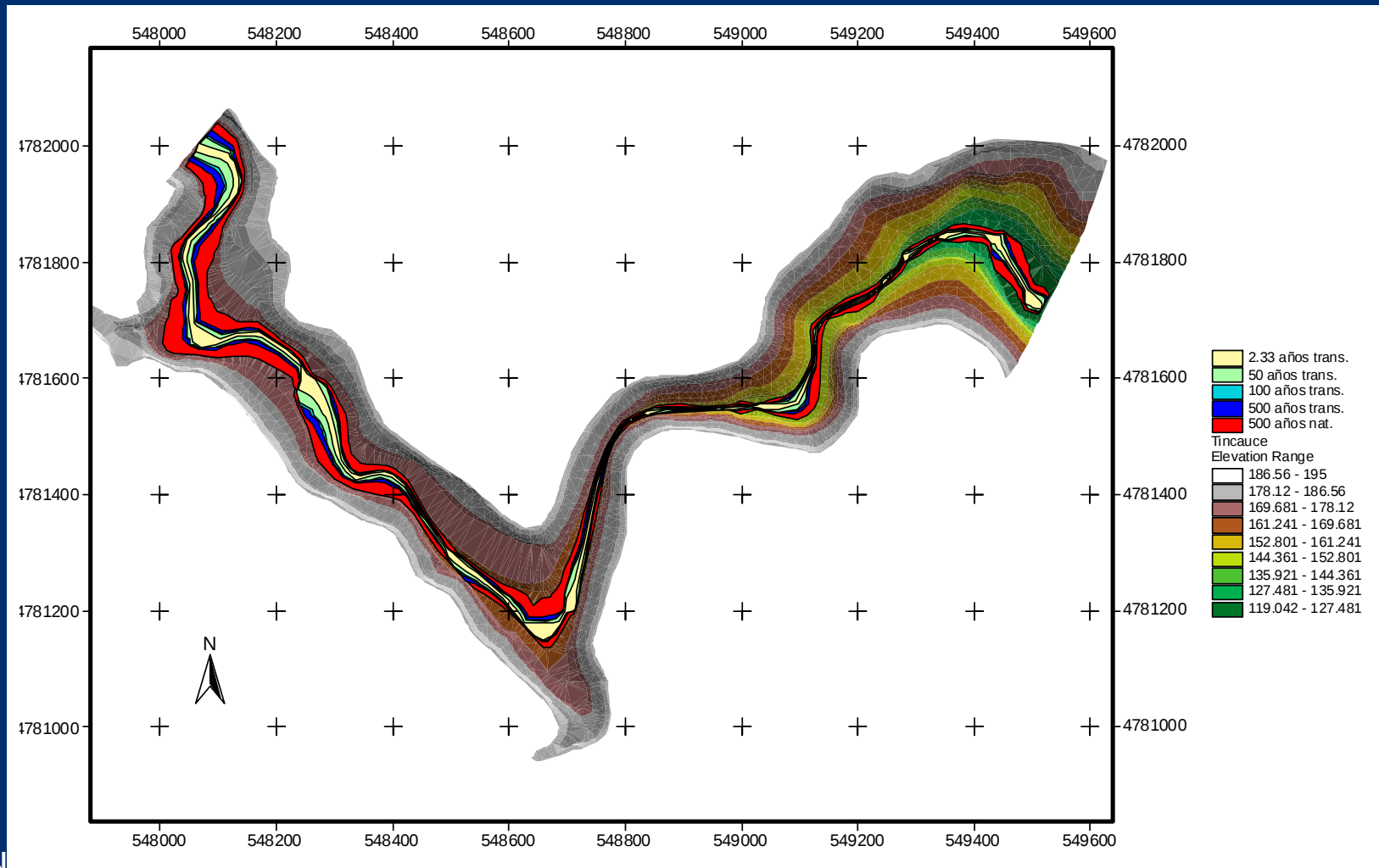
ALIVIADERO. EFECTO REGULADOR



T = 500 años (L = 20 m)			
Qe, m ³ /s	Qs, m ³ /s	% Transf.	H, m
135.9	18.37	86.5	180.66

Balance hídrico

ALIVIADERO. PLANICIES DE INUNDACIÓN



Modelo hidrogeológico

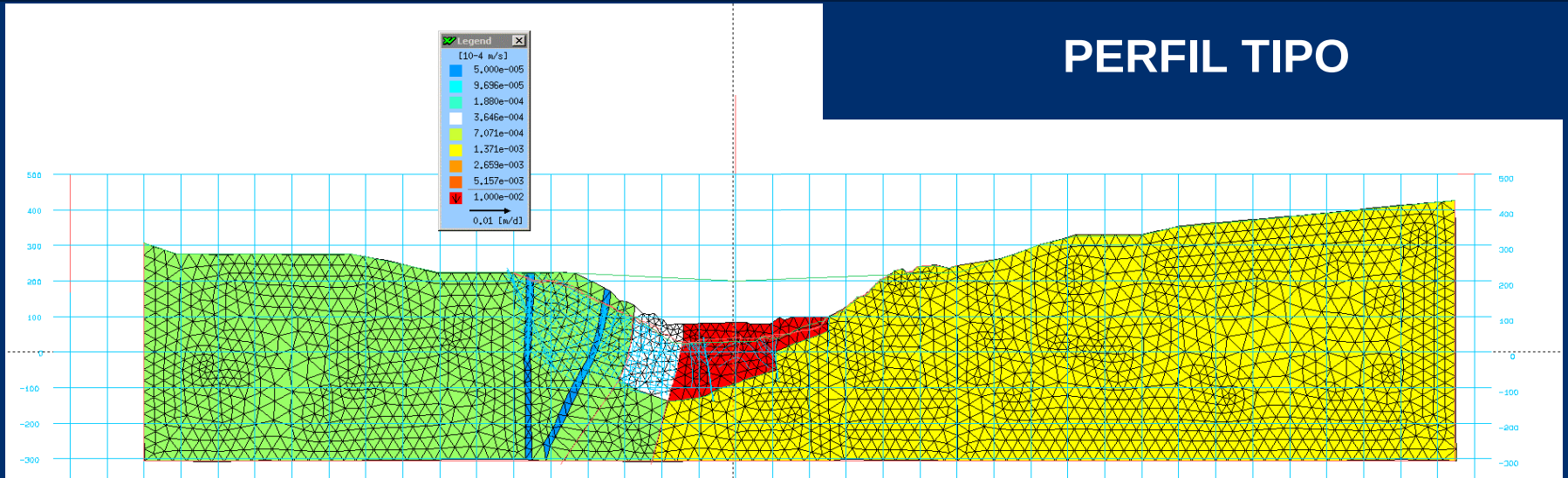
Objetivo: Obtener datos necesarios para los modelos geotécnico e hidroquímico.

Modelización de dos secciones:

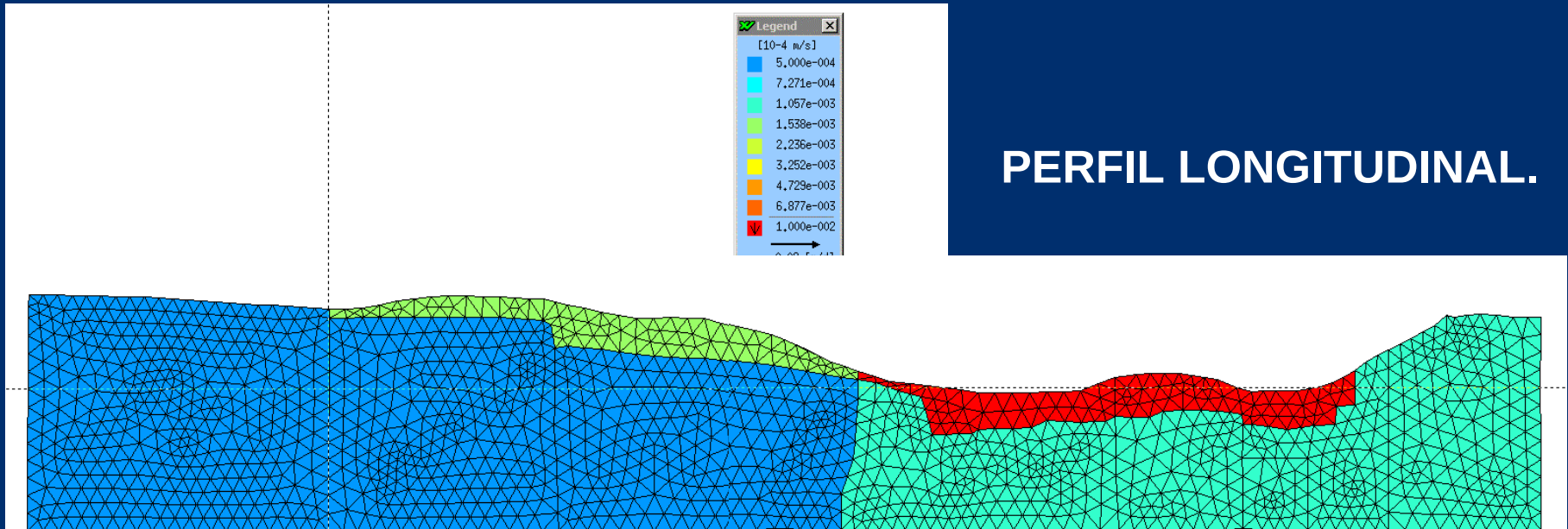
- 1.- Longitudinal
- 2.- Perfil tipo

Modelo hidrogeológico

PERFIL TIPO



PERFIL LONGITUDINAL.



Modelo hidrogeológico

Con este modelo se han determinado:

- 1.- Entradas de agua subterránea en la corta a través de los taludes
- 2.- Capacidad máxima de bombeo perimetral
- 3.- Respuesta del nivel piezométrico en los taludes al llenar la corta
- 4.- Flujo de agua subterránea a través de la escombrera interior.

Hidroquímica (situación actual)

TRATAMIENTO DE AGUAS.

VOLUMEN:
10 Mm³/año

DEPURADORAS :
MINA: 1.800 m³/h
ESCOMBRERA: 3.600 m³/h



Hidroquímica (situación actual)

SISTEMAS PASIVOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

PROYECTO COAL RESEARCH PROGRAMME:

"ALTERNATIVE OPTIONS FOR PASSIVE TREATMENT SYSTEMS OF ACID COAL MINE DRAINAGE"



Hidroquímica (situación futura)

DATOS DE PARTIDA:

Modelo de balance de agua.

Muestreo fase sólida: Granito, esquisto, corneana, arcilla, lignito.

Muestras sometidas a análisis, incluida lixiviación.

Muestreo fase líquida: Muestras superficiales, subterráneas, e infiltración.

Modelo utilizado: PHREEQC 2.

Hidroquímica (situación futura)

PREVISIÓN DE ESTRATIFICACIÓN

- Primeros años de llenado: Mala estratificación, No Termoclina, mezcla completa agua
- Lago lleno agua: Existe estratificación, termoclina. Solo vierte el estrato superior, de buena calidad.



Estratificación y equilibrio con CO_2 y O_2 atmosféricos son los factores más influyentes para la calidad del agua y del vertido.

Hidroquímica (situación futura)

RESULTADO DEL MODELO

Tres salidas obtenidas del modelo: Alimentándolo con los valores extremos y medios del resultado del muestreo.

Procedimiento: Ejemplo de Caso mejor: Modelo con los mejores resultados de los análisis.

Descarte: Dado que el mayor aporte de agua (73 % de escorrentía superficial, + 6% de agua de lluvia) es de calidad
→ el caso peor se descarta como posible

Hidroquímica (situación futura)

CONCLUSIONES

- El vertido siempre estará entre los casos mejor y medio
- El pH esperado estaría en el entorno de 6,2.
- Cumplimiento Tabla III de vertidos (más restrictiva) de la Ley de Aguas:

Todos los parámetros en los casos Mejor y Medio.

Geotecnia

Se ha realizado modelo numérico en UDEC y se ha calibrado con formulación en hojas de cálculo

Se han estudiado las siguientes situaciones:

- * Situación actual (profundidad 230 m:)
- * Situación final (profundidad 260 m.)
- * Situación final con contrafuerte (28m x 75 m ; 35 °)
- * Situación final con y sin contrafuerte para alturas de agua: 70 , 100 y 150 m.

Geotecnia

COEFICIENTES DE SEGURIDAD OBTENIDOS:

	SIN CONTRAFUERTE	CON CONTRAFUERTE
FINAL SIN AGUA	0,9	1,1
FINAL CON 70 m AGUA	1,16	1,24
FINAL CON 100 m AGUA	1,22	1,31
FINAL CON 150 m AGUA	1,36	> 1,45

Geotecnia

CONCLUSIONES:

- Han sido necesarios retranqueos adicionales, para aumentar el coeficiente de seguridad (c.s.) al final de la explotación antes de colocar el contrafuerte.
- El contrafuerte aumentará el c.s. un 20 % (sin agua). Es necesario durante el llenado, ya que después solo aumenta este c.s. entre un 5 y un 10 %
- El agua aumentaría el c.s. un 50 %

Medio ambiente

ACTIVIDADES Golder Associates

- Revisión de las actuaciones de restauración realizadas hasta la fecha: ➔ Conformidad con ellas.

Actuaciones futuras recomendadas:

- Recuperación morfológica de las orillas emergentes al lago.
- Acciones de ingeniería paisajística en estas orillas
- Restauración zonas actuales de explotación

Medio ambiente

1.993

2.002



Medio ambiente

1.995



2.003

Medio ambiente



2.5.2002 11:45



Medio ambiente



Medio ambiente

ACTIVIDADES REALIZADAS Y VÁLIDAS POSTCIERRE.

RESTAURACIÓN DE ESCOMBRERAS

- 350 H^a restauradas
- 200 H^a reforestadas en escombreras
- 300 H^a reforestadas en total
- 6000 pies de castaños, cerezos y fresnos en fincas exteriores.

Medio ambiente

ACTIVIDADES REALIZADAS Y VÁLIDAS POSTCIERRE.



Medio ambiente

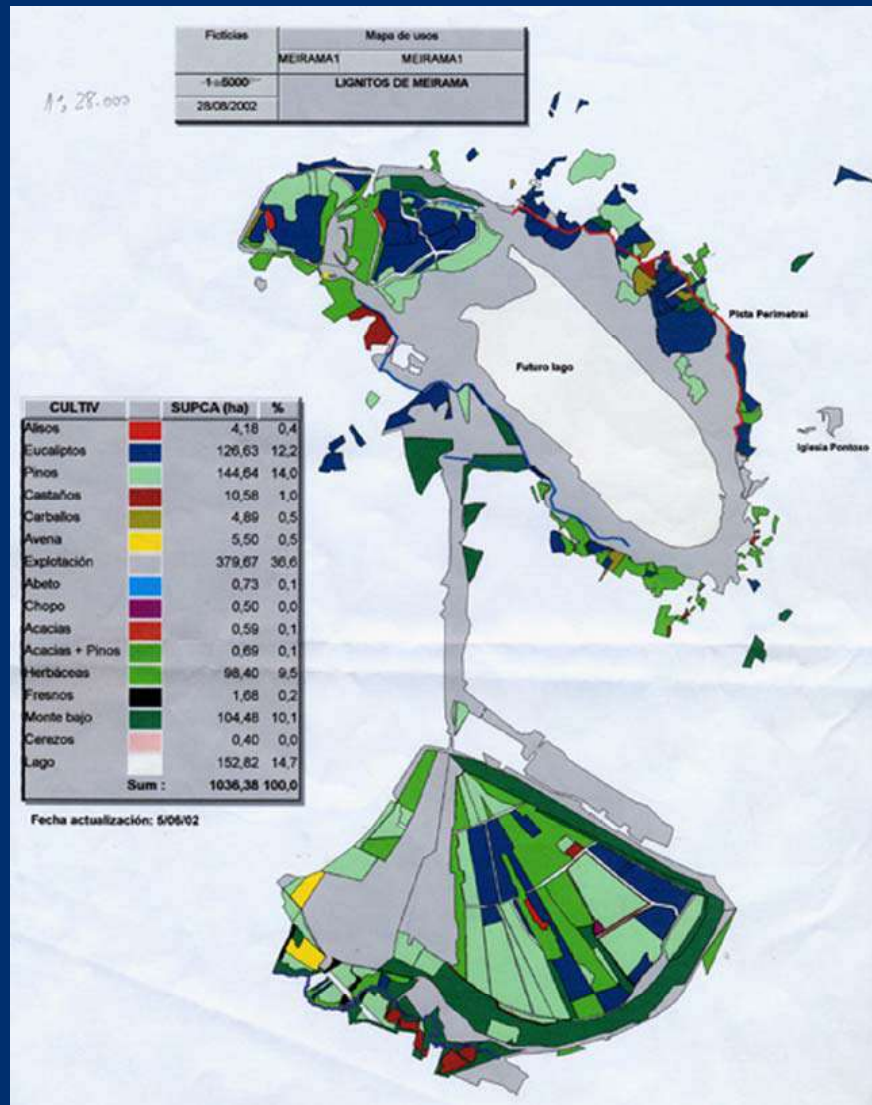
ACTIVIDADES REALIZADAS Y VÁLIDAS POSTCIERRE. EXPLOTACIÓN FORESTAL ORDENADA



Medio ambiente

ACTIVIDADES REALIZADAS Y VÁLIDAS POSTCIERRE.

EXPLOTACIÓN
FORESTAL
ORDENADA



Medio ambiente



Medio ambiente



Medio ambiente



Proyectos similares



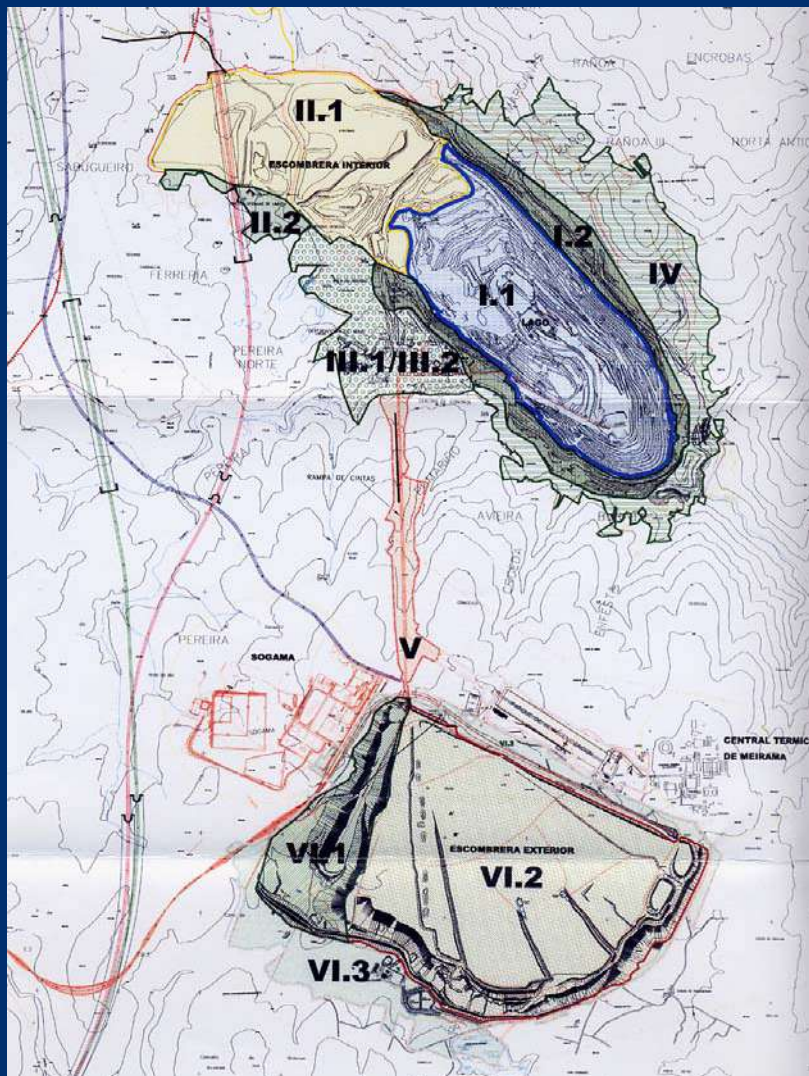
Lago Senftenberg
(Alemania)

Proyectos similares

Restauración de la mina
Sungei Besi Tin Mine en Malasia



Esquema general de usos futuros



I. HUECO EXTRACTIVO

I.1. Zona inundable

I.2. Zona libre de inundación

II. ESCOMBRERA INTERIOR Y TERRENOS ALEDAÑOS

II.1. Escombrera interior

II.2. Terrenos alejados a la escombrera interior

III. ÁREA DE SERVICIO Y TALLERES, DEPURADORA.

III.1. Terrenos que conservan suelos naturales

III.2. Terrenos con suelos transformados

IV. PROPIEDADES DE LIMEISA CIRCUNDANTES AL HUECO

V. TERRENOS ASOCIADOS AL SISTEMA DE CINTAS TRANSPORTADORAS

VI. ESCOMBRERA EXTERIOR

VI.1. Área de vertido activa

VI.2. Área revegetada

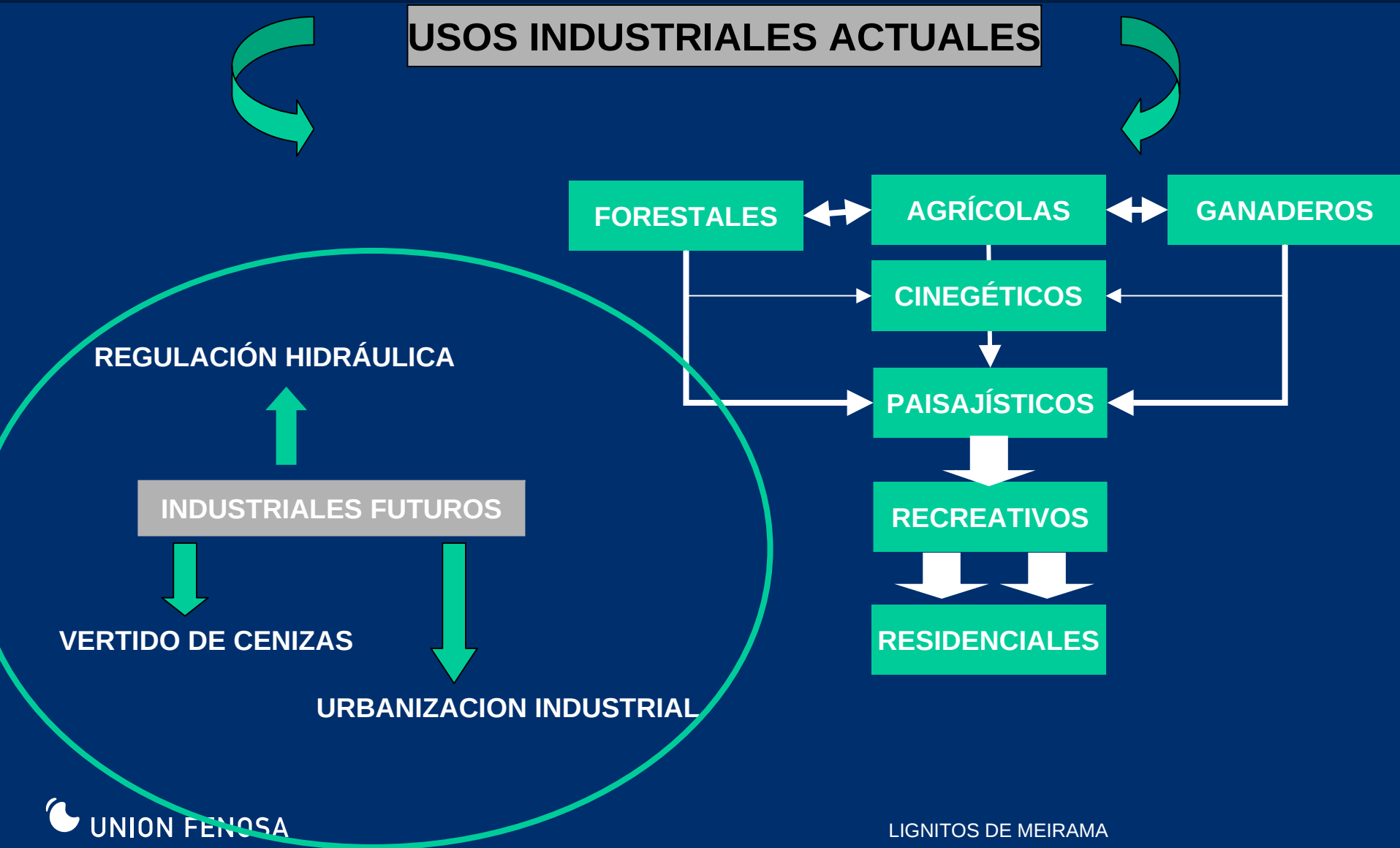
VI.3. Terrenos circundantes de LIMEISA



Esquema general de usos futuros



Esquema general de usos futuros



Esquema general de usos futuros



Esquema general de usos futuros

CINEGÉTICOS



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

FACULTAD DE BIOLOGÍA

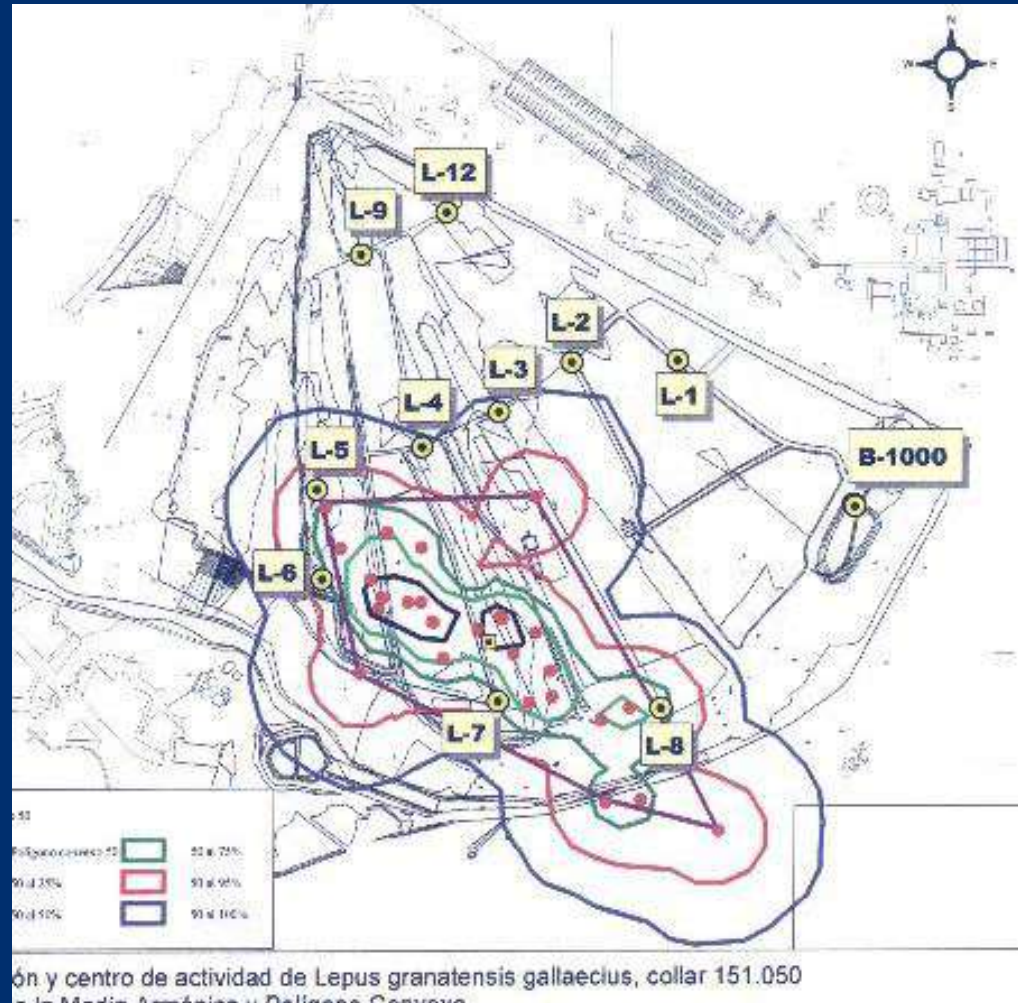
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA ANIMAL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN TUTELADO

Estudio de la Liebre Ibérica, *Lepus granatensis* mediante
técnicas radiotelemétricas

JUAN CARLOS JARAMILLO FAYAD

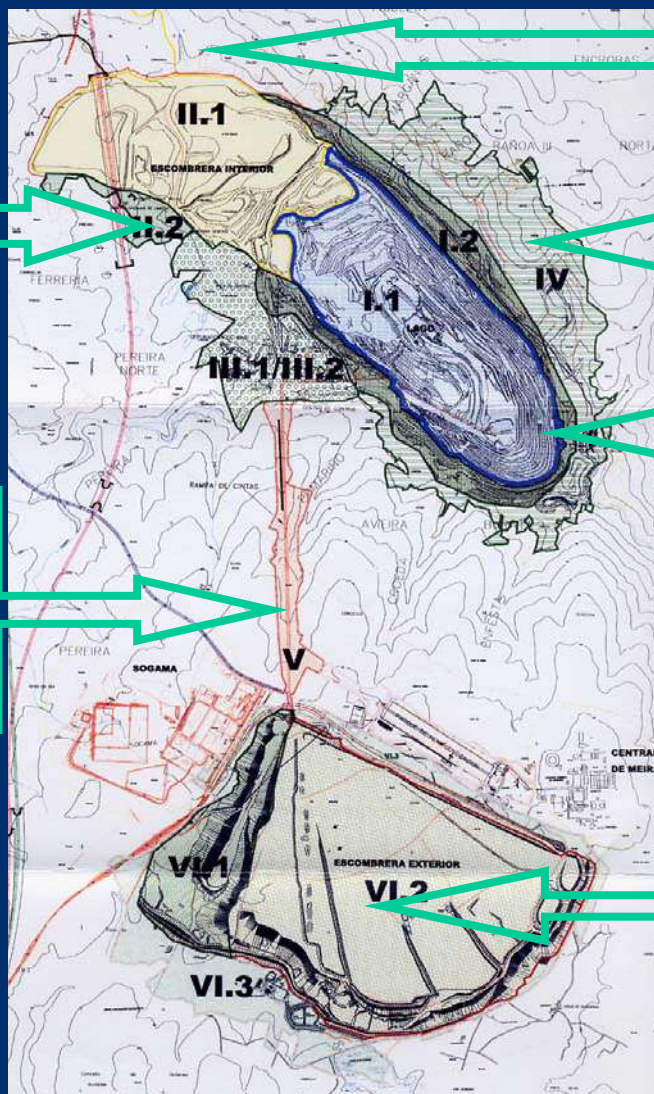
Santiago de Compostela, Julio de 2002



Map showing the distribution and activity center of *Lepus granatensis gallaecius*, collar 151.050 in the Meirama lignite area.

LIGNITOS DE MEIRAMA

Esquema general de usos futuros



- Forestal
- Recreativo

- Forestal
- Integración paisajística

- Regulación abastecimiento
- Explotación hidráulica
- Recreativa y Deportiva

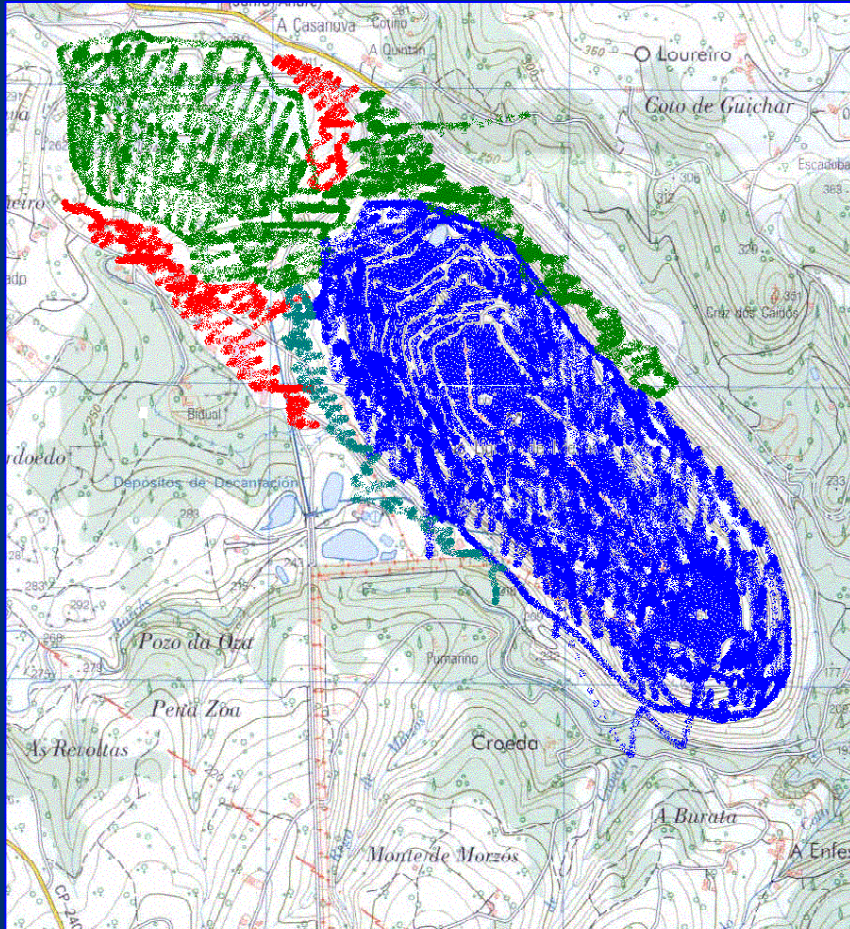
- Industrial
- Ganadero-Forestal
- Integración paisajística

- Urbanizable
- Deportivo

- Agrícola- Forestal
- Uso viario peatonal y ecuestre

Esquema general de usos futuros

INTEGRACIÓN VISUAL



Esquema general de usos futuros

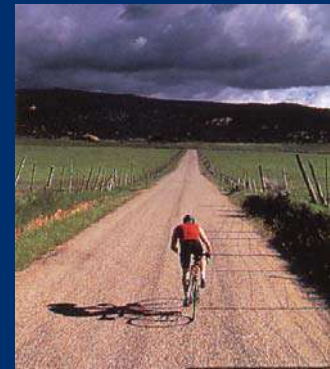
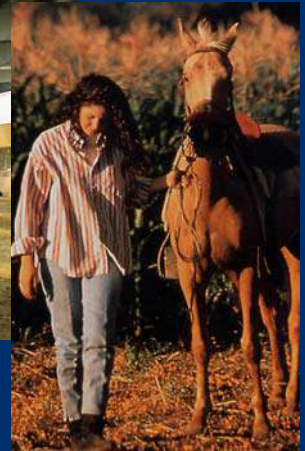
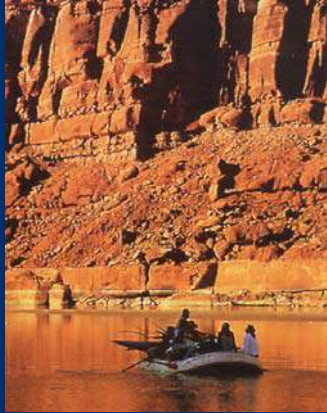
RESIDENCIAL LAGO DE MEIRAMA



Esquema general de usos futuros



Esquema general de usos futuros



LIGNITOS DE MEIRAMA

Gracias por
vuestra atención.



UNION FENOSA

VIDEO



EL LAGO MINERO DE AS PONTES UN SISTEMA HÍDRICO AUTOSOSTENIBLE

Francisco Rivas Ródenas

Director Técnico

Dirección General de Minería

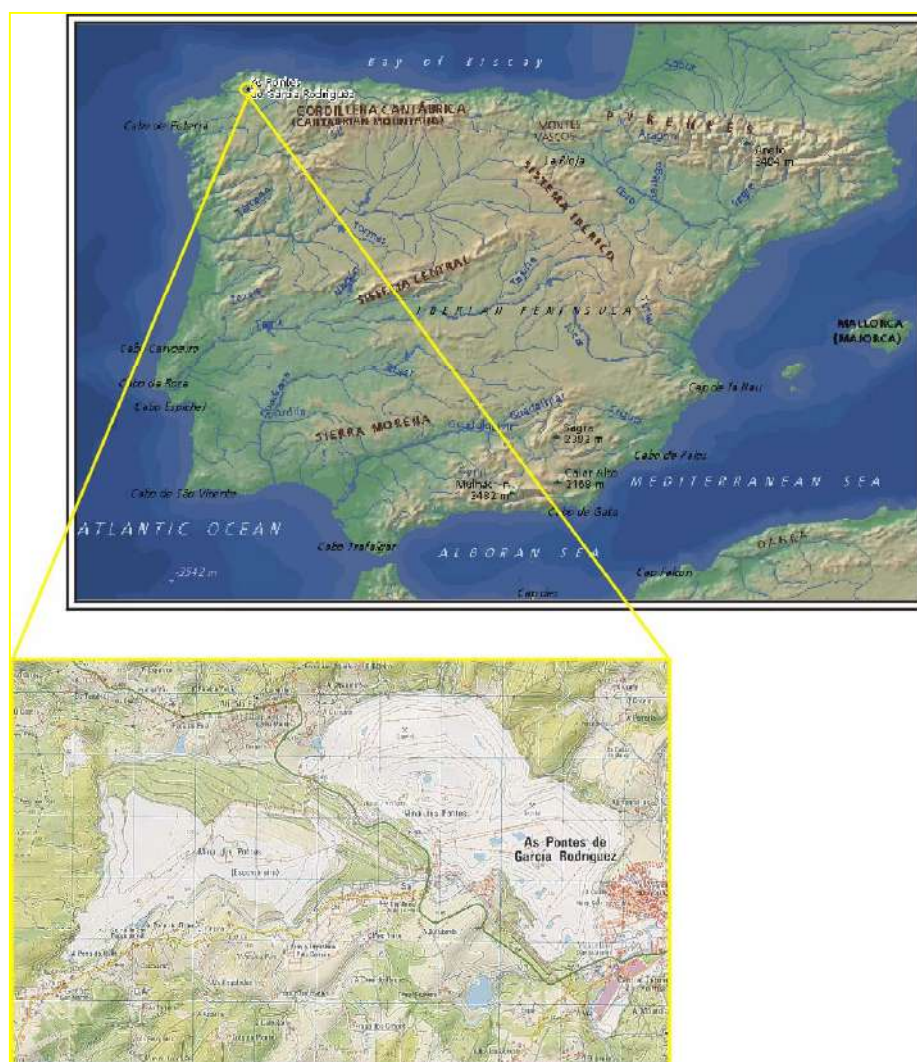
Marzo 2005

EL LAGO MINERO DE AS PONTES UN SISTEMA HÍDRICO AUTOSOSTENIBLE

INTRODUCCIÓN

Endesa Generación, Sociedad Anónima, explota a cielo abierto los lignitos existentes en As Pontes de García Rodríguez, provincia de A Coruña (Ver Figura 1).

FIGURA 1



La explotación minera, tal como se desarrolla actualmente, se inició en el año 1976 y finalizará en diciembre de 2007.

Para restaurar el hueco final de mina está previsto la creación de un lago, tal como se recoge en el “Estudio de Impacto Ambiental de la Mina de Puentes de García Rodríguez (La Coruña)” de noviembre de 1983.

CARACTERÍSTICAS DEL HUECO

El hueco de mina, a la cota de desagüe natural, que es aproximadamente la 332 m.s.n.m, posee una superficie de lámina de agua de unas 800 ha. El volumen a la cota indicada es de 540 hm³.

La longitud máxima del lago es de unos 4,7 km en dirección noroeste – sureste y de unos 2,2 km de anchura en la dirección ortogonal a la anterior. El perímetro del lago será de unos 15 km.

En la Figura 2 se presenta una vista general del lago minero, una vez finalizado.

FIGURA 2



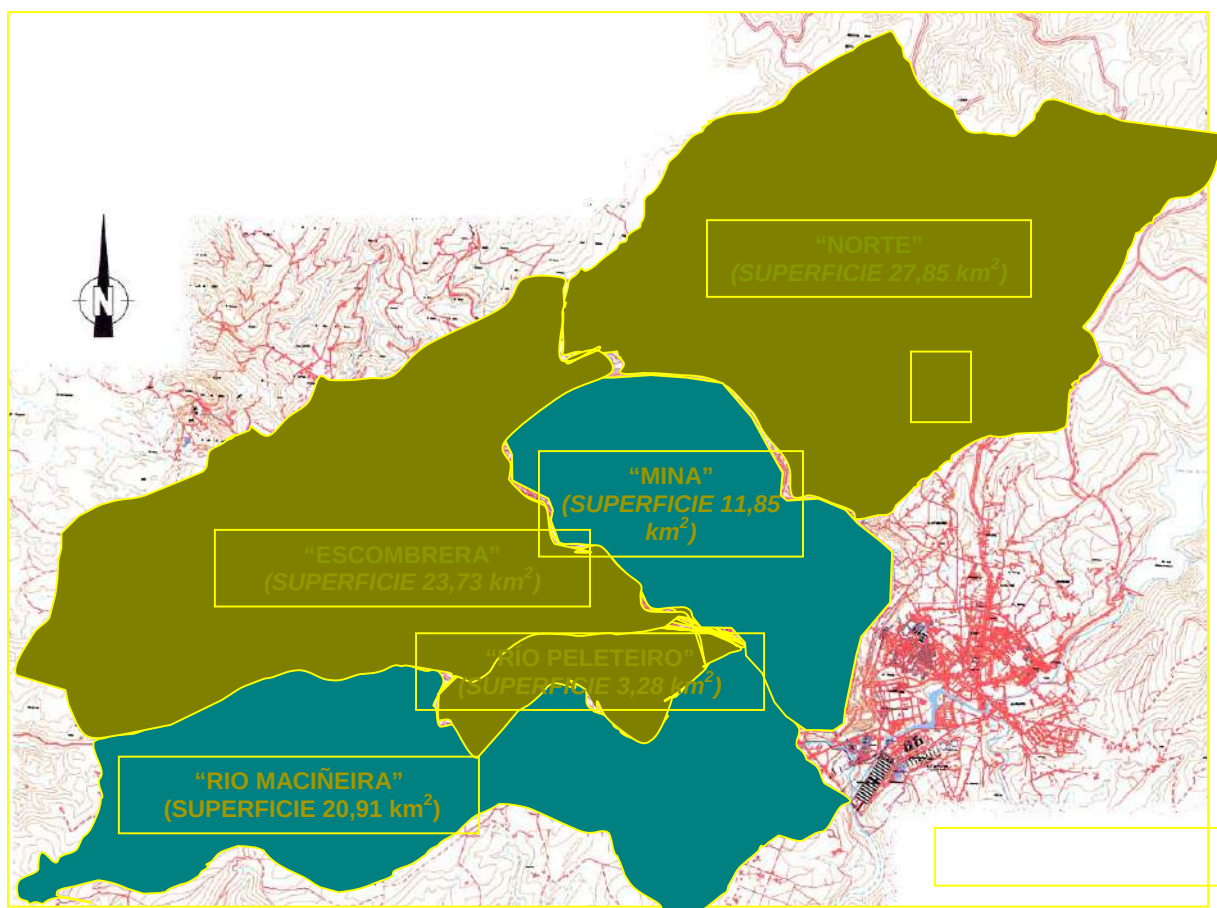
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

Para el llenado por gravedad del hueco minero pueden derivarse las aguas de la cuenca hidrológica del río Carracedo y las de la cuenca del río Eume situado aguas arriba de la confluencia de ambos ríos.

La cuenca hidrológica del río Carracedo, en la que están situadas la mina y escombrera, se encauzó para facilitar la explotación minera.

Actualmente las cuencas de los ríos Tuiverde, Fuente, Meidelo, Chao, Uz e Illade están canalizadas hacia el río Eume, en el que desembocan, dentro del núcleo urbano de As Pontes, sin entrar en contacto con la explotación. En la Figura 3 se muestra este conjunto de cuencas, que se designan como “Norte”.

FIGURA 3

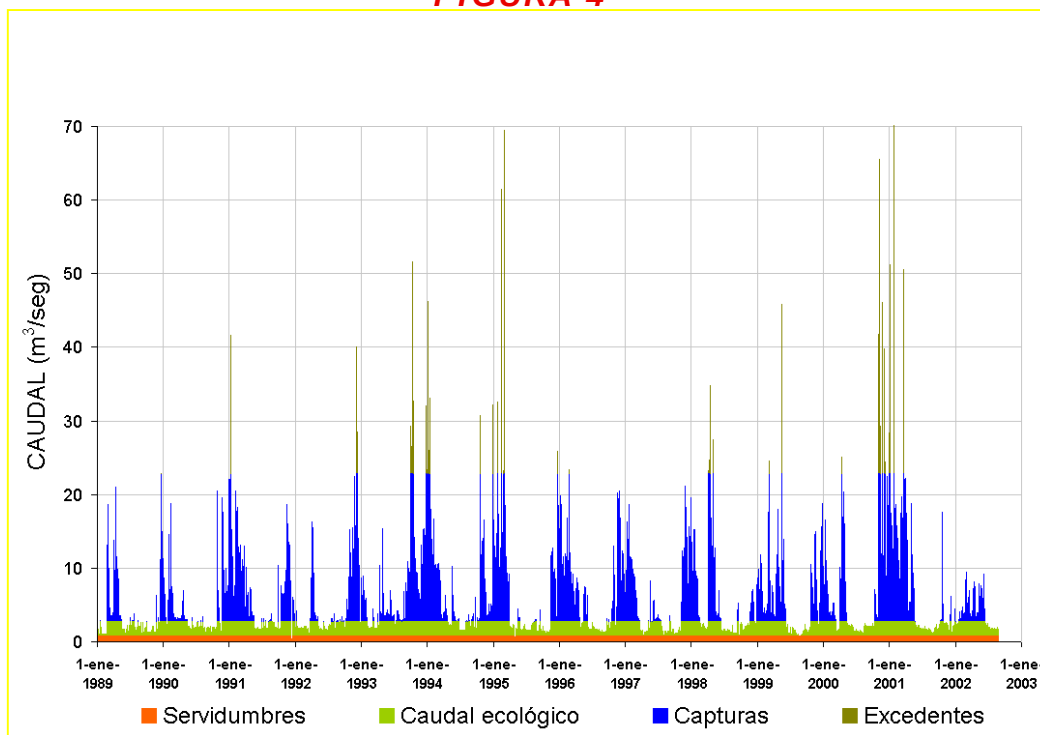


La denominada cuenca “Escombrera” recoge las aguas de escorrentía de la escombrera exterior y de las cuencas hidrológicas de los ríos Gorgode, Braña, San Juan, Seijo, Capilla, Val, Penedo, Pandas y Laurentín. El drenaje se realiza mediante dos canales, denominados Canal Norte y Canal Sur, que bordean la escombrera por sus límites norte y sur, y que confluyen aguas abajo del área de la escombrera.

La cuenca denominada “Mina” recoge las precipitaciones que se producen dentro de los límites del hueco minero, y que no pueden ser evacuadas por gravedad.

Las cuencas de los ríos Peleteiro y Maciñeira, únicamente se han visto afectadas por la explotación en sus tramos inferiores. El río Peleteiro descarga en el canal resultante de la confluencia de los canales Norte y Sur de escombrera y el río Maciñeira vierte directamente al río Eume mediante un canal.

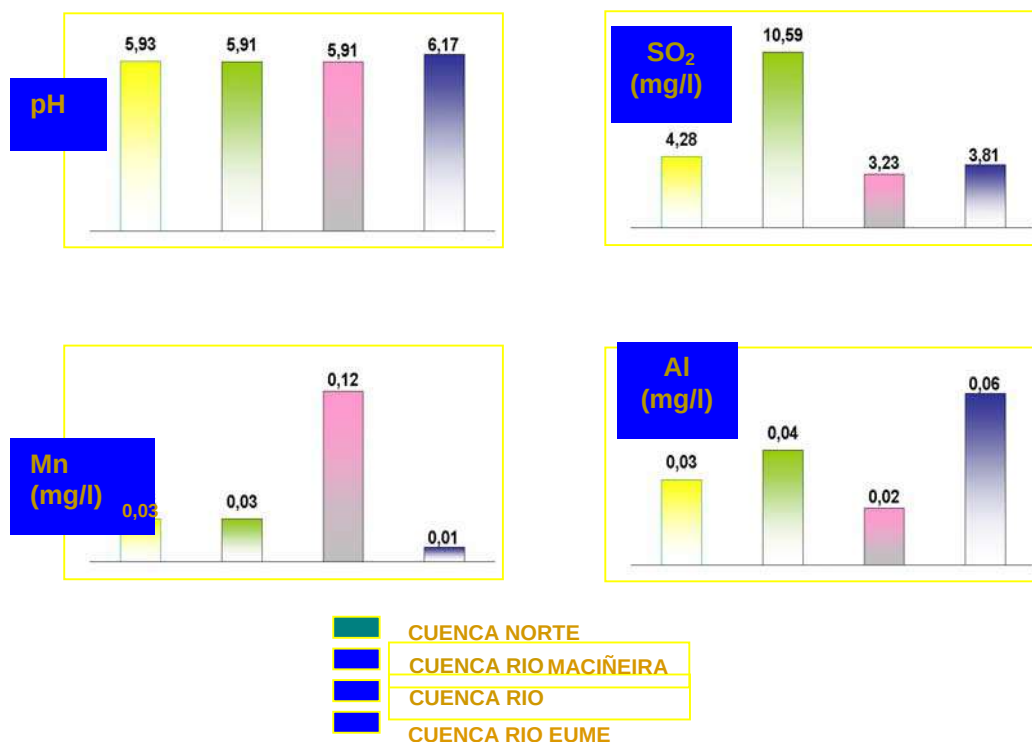
A partir de los datos históricos de aportaciones y salidas del embalse de A Ribeira, situado aguas arriba del núcleo de As Pontes, y de las superficies de las cuencas vertientes, se ha calculado una curva histórica de aportaciones al azud de la Central Térmica, situado aguas arriba del hueco minero. De esta curva se puede deducir la existencia de excedentes hídricos en este punto de la cuenca del río Eume, del orden de $120 \text{ hm}^3/\text{año}$, una vez cubiertas las servidumbres y el mantenimiento de un caudal ecológico del orden del 30% de la aportación media anual. En la Figura 4 se presenta la curva histórica de caudales calculada para el río Eume en el azud de la Central Térmica, y el destino que habrían tenido de haberse producido el llenado del lago en las condiciones indicadas.

FIGURA 4

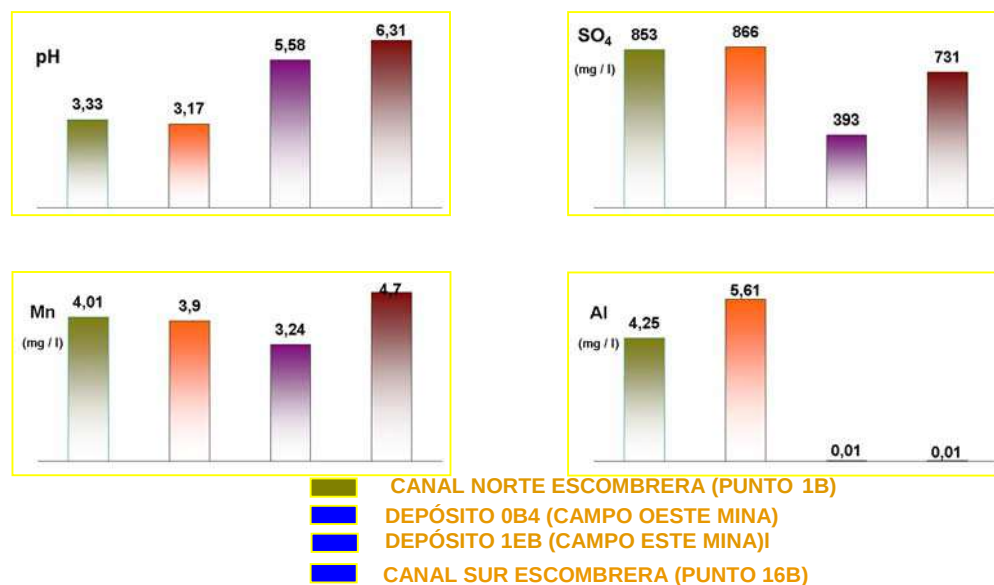
CALIDAD DE LAS AGUAS

La calidad de las aguas de las grandes cuencas hidrológicas mencionadas está claramente diferenciada, según que su procedencia sea de áreas afectadas o no por la explotación minera.

En la Figura 5 se presentan para las Cuenca Norte, río Maciñeira, río Peleteiro y río Eume los parámetros químicos significativos, que ponen de manifiesto la homogeneidad y baja mineralización de esta agua.

FIGURA 5

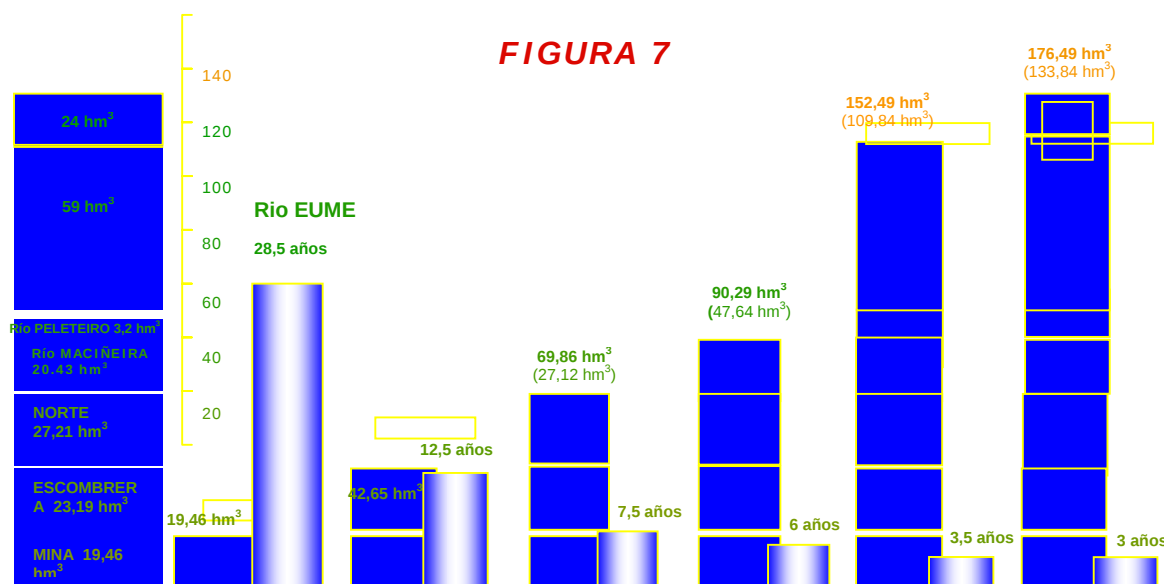
En la Figura 6 se presentan para las aguas de las cuencas de Mina y Escombrera los mismos parámetros químicos que se han reflejado para las aguas naturales. Estas aguas se presentan mineralizadas y con un bajo pH en el caso de las aguas de mina.

FIGURA 6

En las áreas de la escombrera restauradas al comienzo de la explotación se constata una calidad de las aguas de esorrentía mejor que la media reflejada en la Figura 6. Esta tendencia hace prever que esta mejora se hará extensible a la superficie total de la escombrera, y que consecuentemente la calidad de las aguas será superior a la actual al iniciarse el proceso de llenado del hueco.

TIEMPOS DE LLENADO

El tiempo de llenado del hueco final será función de las disponibilidades hídricas. En la Figura 7 se realizan los tiempos de llenado correspondientes a distintas alternativas.

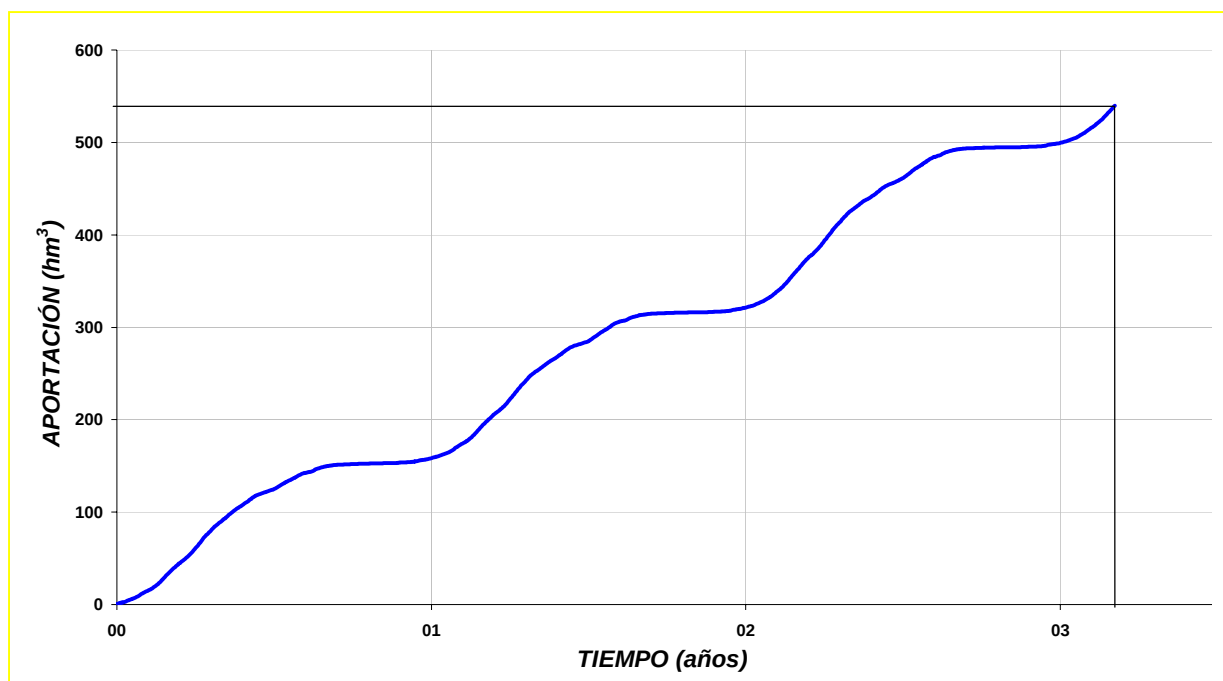


Como puede observarse el período de llenado varía considerablemente entre cerca de treinta años, para el caso de que solamente se utilicen las aguas de la Cuenca de Mina, y unos tres

años si a las Cuencas de Mina y Escombrera se suman unos 130 hm³ de las cuencas no afectadas por la explotación minera.

En la Figura 8 se presenta la curva de llenado prevista para el caso de que éste se realiza con las aguas de las Cuencas de Mina y Escombrera y los 120 hm³ derivados del río Eume, tal como se ha expuesto en el apartado relativo a DISPONIBILIDADES HÍDRICAS.

FIGURA 8



OBRAS HIDRÁULICAS DE LLENADO

Para simplificar las obras de captación y minimizar su impacto se ha previsto realizar una única captación de aguas naturales.

El punto elegido para la captación es el azud de la Central Térmica donde, tal como se ha indicado anteriormente, se pueden captar en año medio hasta 120 hm³. Además en las proximidades del azud existe una antigua toma de aguas que se prevé rehabilitar.

Para transportar los caudales hasta el fondo de la mina se ha proyectado un canal revestido de hormigón en su mayor parte y de unos 5.700 metros de longitud, la pendiente media es del 3,45% y consta de siete tramos de pendientes comprendidas entre el 0,23% y el 16,46%. La sección se ha previsto trapezoidal en todos los casos y variable en función de la pendiente de cada tramo y las características de los materiales de revestimiento.

En la Figura 9 se presenta la planta del canal de llenado.

FIGURA 9

Para incorporar las aguas de la Cuenca de la Escombrera se ha diseñado un canal con capacidad para 30 m³/s y de 685 m de longitud, que conducirá esta agua hasta el canal de llenado.

OBRAS HIDRÁULICAS DE DESCARGA AL LAGO FINAL Y DESAGÜE DEL LAGO

Una vez que se haya producido el llenado del lago, se pretende derivar hacia el mismo los cauces hídricos desviados al inicio de la explotación. El desagüe del lago se realizara al cauce, actualmente seco, del río Carracedo, afluente del río Eume, que drenaba todo el área de la explotación minera.

Con esto se recompone el sistema hidrológico existente antes del inicio de la explotación.

Para derivar hacia el lago ya formado estos cauces hídricos, se hace necesario la ejecución de unas obras hidráulicas que en síntesis son las siguientes:

Descarga del Río Illade

El río Illade, situado en el noroeste de la explotación, fue derivado hacia el río Eume, mediante un canal en túnel, que desemboca aguas arriba del azud de la Central Térmica.

El cauce del río fue excavado, aguas abajo de su encauzamiento, por la explotación minera. Entre ambos puntos el cauce permanece prácticamente en seco.

El caudal máximo previsto es de 164,78 m³/seg, que es el calculado para la cuenca considerada y un período de retorno de 500 años.

La obra de descarga contempla la demolición de las obras de desvío realizadas, la construcción de una pequeña presa de encauzamiento, en la que se ubicará un aliviadero, y una serie de rápidas y cuencos de amortiguación, para conducir los caudales del río hasta el nivel de agua del lago.

En la Figura 10 se presenta una vista de esta descarga

FIGURA 10

Descarga del Río Meidelo y Cuencas Próximas

Las obras de desvío de los cauces afectados por la explotación minera supusieron la desviación hacia el río Eume de los cauces de los ríos Meidelo, Tuiverde, Fuente, Chao y Uz, todos ellos en la zona nornoroeste de la Mina. Los ríos Tuiverde y Fuente se derivaron hacia el cauce del río Meidelo y desde este se ejecutó un canal en túnel, que desemboca en el cauce del río Illade. Este canal recibe las aportaciones de los ríos Chao y Uz mediante un pozo vertical que conecta el cauce del río Chao con el túnel. Desde el río Illade las aguas de estas cuencas son conducidas, conjuntamente con la de la cuenca del río Illade hacia el río Eume.

El caudal máximo previsto es de 103,17 m³/seg, que es el estimado para las cuencas de los ríos Meidelo, Tuiverde, Fuente, Chao y Uz, para un período de retorno de 500 años.

Las obras de descarga contemplan la construcción de un azud que actúa como aliviadero y una serie de rápidas y cuencas de amortiguación para que los caudales drenados hasta el cauce del río sean conducidos al nivel de agua del lago.

Para llevar hasta el cauce del río Meidelo los caudales de los arroyos Chao y Uz se ha previsto construir un canal y para aportaciones de los arroyos Tuiverde y Fuente se mantendrán los canales ya existentes.

Para que todos los caudales fluyan hacia el lago está previsto demoler las obras existentes de captación del río Meidelo y taponar el túnel de desvío.

En la Figura 11 se presenta una vista de esta descarga

FIGURA 11



Descarga del Canal Norte de Escombrera

Para protección de la Escombrera Exterior se construyeron, con antelación a su desarrollo, una red de canales que bordea su contorno. El denominado Canal Oeste recoge las aguas de los arroyos Val, Capilla y Seijo y al llegar al límite norte del borde oeste de la escombrera gira noventa grados y comienza a discurrir por el borde norte de escombrera en sentido este, aproximadamente, y se denomina Canal Norte.

Tras una rápida y un cuenco de amortiguación, el canal desemboca en el denominado Lago Braña, donde recoge las aguas del arroyo del mismo nombre. Aguas abajo recibe las aportaciones de los arroyos

Gorgode y Castiñeira. A lo largo de su recorrido por el pié de la escombrera recoge aguas de escorrentía de la propia escombrera.

Las obras de descarga del Canal Norte se han proyectado para incorporar los caudales transportados por este canal, tras la incorporación de las aportaciones de los arroyos Gorgode y Castiñeira. Se ubica aproximadamente en el extremo suroeste de la mina.

El caudal máximo a desaguar es de 157,20 m³/seg, que corresponde al caudal punta acumulado por cada una de las cuencas consideradas para un periodo de retorno de 500 años.

Se trata de dar continuidad al canal existente pero cambiar su dirección unos cuarenta y cinco grados de forma que se incorpore al lago final.

En la Figura 12 se presenta una vista de esta descarga

FIGURA 12



Descarga del Canal Sur de Escombrera y río Peleteiro

El Canal Sur de Escombrera bordea el pie de la escombrera exterior por su borde sur. Al salir del límite de la escombrera incorpora las aguas del Canal Norte y de las escorrentías de parte de la escombrera.

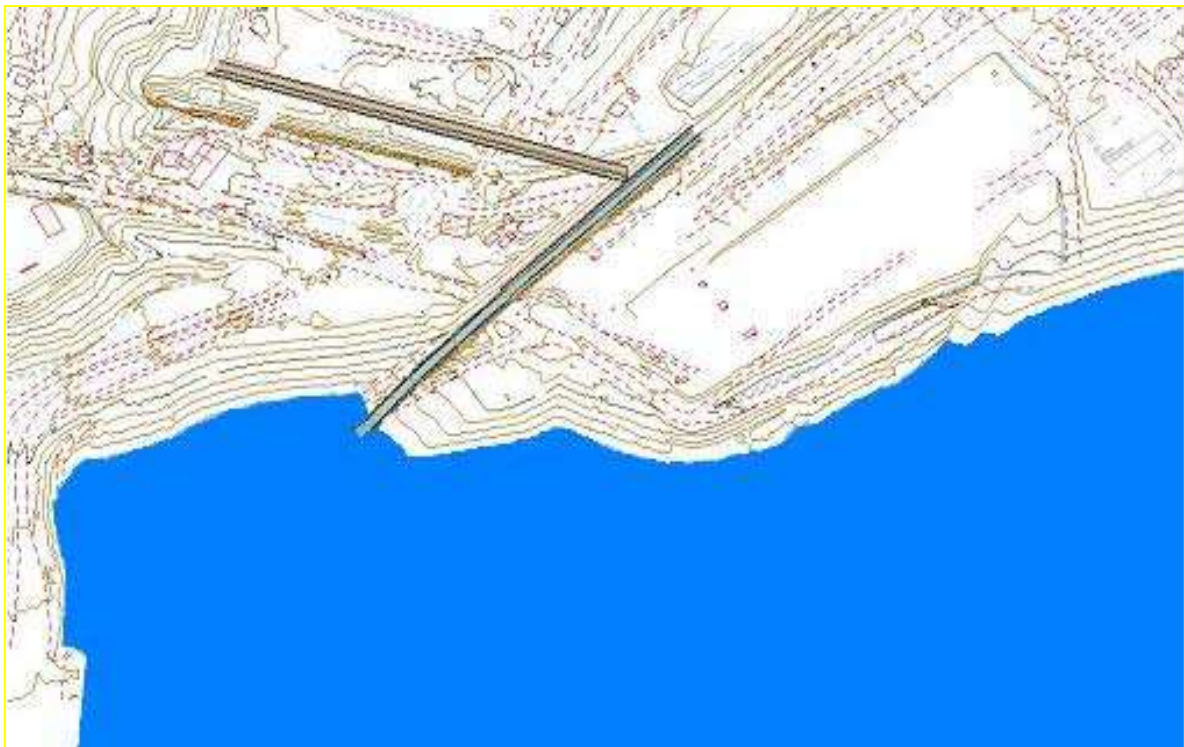
El Canal Sur recoge las aguas de los arroyos Penedo, Vega, Las Pandas, Laurentin y de gran parte de la superficie de la escombrera exterior. Como se ha indicado, a los caudales aportados por estos arroyos se les unen actualmente los del Canal Norte, pero las aportaciones de este canal se derivarán al lago antes de su entrega al Canal Sur.

El caudal aportado por el Canal Sur se verá incrementado por las aportaciones del río Peleteiro que se incorporarán a su descarga. Para el Canal Sur se ha estimado un caudal punta de $102,28 \text{ m}^3/\text{seg}$ y para el río Peleteiro de $51,23 \text{ m}^3/\text{seg}$, ambos para un periodo de retorno de 500 años.

Conceptualmente se trata de desviar el río Peleteiro hasta incorporarlo a la descarga del Canal Sur, que se ha concebido como prolongación del propio canal, aprovechando un cambio de dirección del mismo.

En la Figura 13 se presenta una vista de esta descarga

FIGURA 13



Descarga del río Maciñeira

El río Maciñeira, situado en la esquina sureste de la explotación se encuentra encauzado desde las proximidades del límite de aquella hasta su desembocadura en el río Eume. La entrada en el canal se produce mediante una pequeña rápida y aguas arriba el cauce permanece inalterado, si bien existe una estructura de paso sobre él, de las cintas de carbón y cenizas que unen mina y central.

El caudal máximo previsto es de 135,79 m³/seg, que es el calculado para la cuenca en cuestión y un periodo de retorno de 500 años.

La descarga contempla el encauzamiento del cauce actual del río entre el puente existente en la carretera en la CN-641 Villalba-Ferrol, sobre el río Maciñeira, y el anteriormente citado. Aguas abajo el cauce del río se ha proyectado coincidente con el canal de llenado y se amplía su sección para dar cabida a la avenida de 500 años.

Entre ambos tramos se ha intercalado una zona de transición de unos 70 metros de longitud.

En la Figura 14 se presenta una perspectiva de esta descarga

FIGURA 14

Desagüe del Lago

El desagüe del lago se realizará a través del cauce del río Carracedo, que antes de las obras de desvío, previas al inicio de la explotación minera, drenaba todo el área considerada.

El cauce del río Carracedo que aún permanece, está situado en el extremo sureste de la explotación minera y al norte del río Maciñeira.

Para que las aguas del lago alcancen el cauce de desagüe se ha proyectado una conexión, que no es sino una prolongación del lago.

La capacidad de descarga estará regulada por la variación de la altura de agua en el lago, que se ha estimado que será inferior a 1,5 metros.

La sección de la descarga se ha proyectado trapezoidal con la base superior a la cota 334,50 y de anchura constante e igual a 39,70 m y cajeros de pendiente 1(v) : 5(H). la base inferior varía de 4,70 m a la entrada y cota 331,00; y 14,70 m en la conexión con el cauce del río Carracedo, y cota 332,00 m, que son la anchura y cota que tiene el río en el punto de conexión.

Al mismo tiempo que se ejecutan estas infraestructuras, se restaurarán todos los taludes por encima de la cota 332 y se tratarán los que quedando por debajo de esa cota, y en función del estudio del oleaje, requieran actuaciones especiales: vegetación, escolleras.

En la Figura 15 se presenta una vista del desagüe del lago.

FIGURA 15



Madrid 10 de marzo de 2005

Mina Puentes (2012)

