

la inundación de la mina de reocin

fernández gonzález, josé ramón (*)

alonso lópez, josé antonio (*)

loredo perez, jorge luis (**)

(*) Xstrata - Asturiana de Zinc, S.A. - Mina de Reocin – TORRELAVEGA (Cantabria)

(**) Escuela de Minas – OVIEDO (Asturias)

ifernandezg@xstratazinc.com

aalonso@xstratazinc.com

ilored@uniovi.es

Palabras clave: Agua, acuífero, piezometría, calidad del agua, dolomía.

Resumen: La mina de Reocin está situada en la Comunidad Autónoma de Cantabria y se explotó durante 147 años, desde 1856 hasta 2003. Notable por la calidad de sus concentrados, el caudal de agua de achique de esta mina, de $1.2\text{m}^3/\text{seg}$, hizo difícil la explotación y complicó extraordinariamente las operaciones de cierre. La inundación se inició en noviembre de 2004 y continúa en este momento. La subida del agua se realiza de forma escalonada, con ascensos libres alternados con bombeos que mantienen el nivel constante. El yacimiento arma en dolomía y esta circunstancia ha dado lugar a que el agua de inundación sea de muy buena calidad. Esta roca corrige el pH ácido que se forma en la reacción sulfuro / oxígeno / agua y permite que ese parámetro alcance valores próximos a 8, haciendo innecesaria ahora la utilización de la planta de tratamiento de agua. Esta última, con capacidad para caudales de 750 L/seg y contenidos de 200mg/L de hierro, ha funcionado muy bien y, tanto con la planta en marcha como ahora en que está parada, los contenidos metálicos en el vertido son muy inferiores a los límites reglamentarios. La inundación total de la mina está en curso de ejecución y a partir de ese momento se abren múltiples oportunidades futuras de aprovechamiento del agua, para aplicaciones industriales o incluso en el abastecimiento doméstico.

INTRODUCCIÓN

La mina de Reocin está situada en la Comunidad Autónoma de Cantabria, unos 2 Km al oeste de la ciudad de Torrelavega. Su explotación se inició en 1856 y finalizó en marzo de 2003 como consecuencia del agotamiento de reservas. Inicialmente fue propiedad de Real Compañía Asturiana de Minas, sucedida después por Asturiana de Zinc, perteneciente al grupo minero internacional Xstrata.

A lo largo de sus 147 años de vida se han extraído de esta mina más de 7 millones de Tm de concentrados de zinc, de ley superior al 60,5%, y 0,7 millones de Tm de concentrados de plomo.

Además de la calidad reconocida de su concentrado, esta mina fue singular porque, para su explotación, era necesario desaguar un caudal medio de $1,2\text{ m}^3$ por segun-

do. Esta circunstancia afectó notablemente al desarrollo de la actividad extractiva y ha tenido mucha importancia en el proceso de cierre, obligando a resolver gran número de problemas hidrogeológicos. En este artículo se pasa revista a la geología e hidrogeología del yacimiento y al proceso de inundación de la mina, iniciado inmediatamente después del cese de la producción.



Figura 1. Agua en el oeste de la mina subterránea

GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

Geológicamente, la Mina de Reocin se sitúa en el borde occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, constituida por materiales mesozoicos y terciarios depositados sobre un zócalo paleozoico previamente plegado por la Orogenia Hercínica y erosionado.

Esta cuenca se vio afectada por dos procesos tectónicos diferentes: uno distensivo, en el Aptiense-Albiense, relacionado con la apertura del Golfo de Vizcaya y que provocó una intensa red de fracturación, posteriormente utilizada para dar lugar a las mineralizaciones de plomo-zinc del occidente de Cantabria, entre las que se incluye el yacimiento de Reocin; y otro compresivo, en el Terciario, la Orogenia Alpina, que provocó el cierre parcial del Golfo de Vizcaya y dio origen a las cadenas pirenaica y cantábrica.

Una de las estructuras originadas en el Alpino es el sinclinal de Santillana - San Román, estructura de más de 30 Km de largo que, desde su terminación periclinal en el municipio de Reocin, se extiende en dirección este-noreste hasta la ciudad de Santander, donde desaparece bajo las aguas del mar Cantábrico. Es en este sinclinal,

sobre su flanco sudeste y muy próximo al cierre periclinal, donde, encajado en materiales carbonatados del Aptiense Superior (Gargasiense), se encuentra el yacimiento de Reocin.

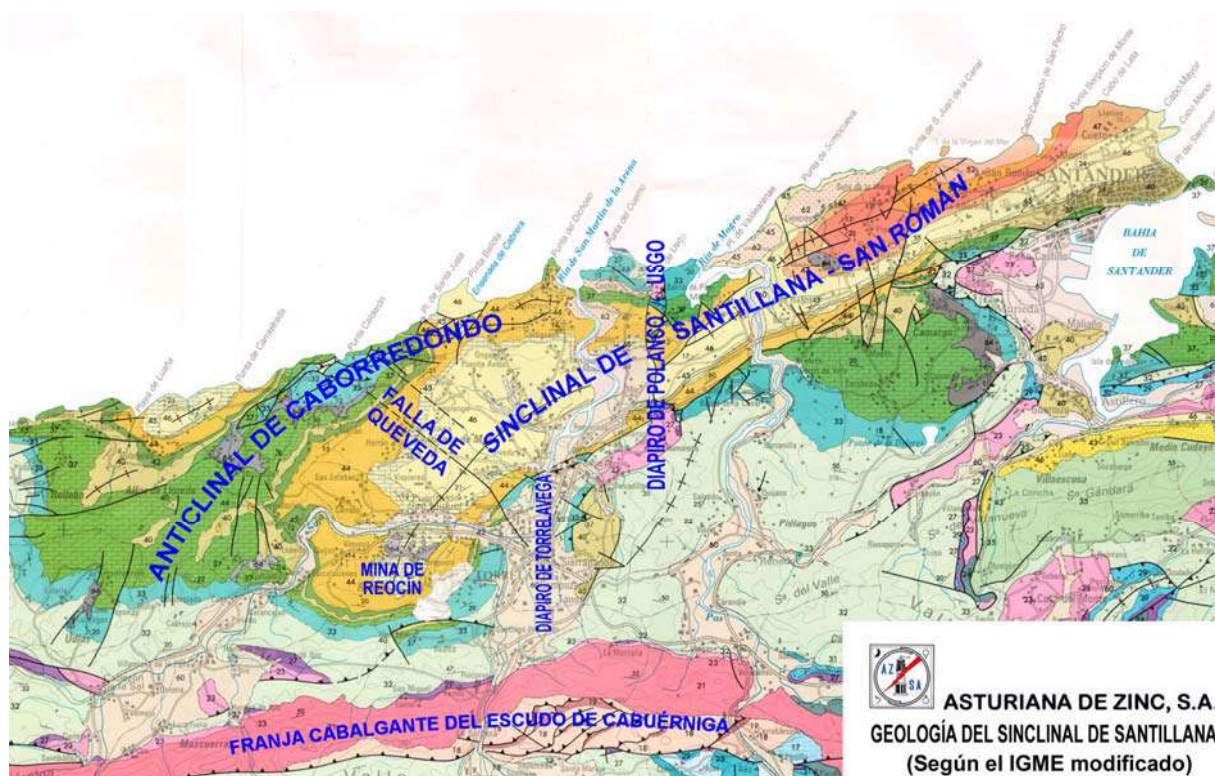


Figura 2. Mapa geológico

El yacimiento ocupa una superficie aproximadamente rectangular de unos 3.500 m de largo por unos 800 m de ancho. La mineralización básica es blenda, galena y marcasita y se extiende en profundidad, siguiendo la estructura del sinclinal, aunque la morfología de la mineralización se ve condicionada por las principales direcciones de fracturación sinsedimentaria. Hacia el fondo, por debajo de la cota -325m se esteriliza o se hace arrosariada lo que da lugar a la pérdida de interés económico.

El sinclinal de Santillana – San Román se encuentra dividido en dos partes casi iguales por el diapiro de Usgo-Polanco, importante estructura diapírica de dirección norte-sur que, desde el punto de vista hidrogeológico, actuaría de barrera entre las dos partes del sinclinal, dando lugar a dos compartimentos estancos entre sí.

La mitad occidental del sinclinal, que es la que alberga la mina de Reocin, es lo que se denomina en sentido estricto el Sinclinal de Santillana. En él, sobre un zócalo carbonífero aflorante en la Franja Cabalgante del Escudo de Cabuérniga, se disponen unos 3.000 m de sedimentos que abarcan del Trías al Campaniense Medio, de los que pasaremos a describir los que tienen importancia hidrogeológica para el cierre de la mina y que, en el entorno de Reocín y de techo a muro, son:

- ✓ **CENOMANIENSE INFERIOR:** 250 m de alternancia de areniscas y lutitas negras, en bancos potentes, con algún paquete carbonatado disperso. Las lutitas son impermeables, y las areniscas, cementadas e impermeables en profundidad, se alteran a arenas en superficie, dando lugar a pequeños acuíferos confinados que descargan como fuentes de escaso caudal en el afloramiento. En conjunto, este nivel se comporta como impermeable o acuitardo.
- ✓ **ALBIENSE SUPERIOR:**
 - o 10 m de dolomías margosas-nodulosas.
 - o 20 m (oeste) a 5 m (este) de areniscas glauconíticas con algunas lutitas negras intercaladas, y algún banco de doloarenitas.
 - o 55 m de doloarenitas glauconíticas de grano grueso que pasan a muro a dolomías margosas nodulosas oscuras.
- ✓ **ALBIENSE INFERIOR:** 20 m (oeste) a 5 m (este) de areniscas y lutitas en bancos poco potentes, con algún nivel carbonatado intercalado.
- ✓ **APTIENSE SUPERIOR (Gargasiense):** dolomías algo ferrosas, que encajan a las mineralizaciones de Reocin. La potencia de este horizonte aumenta rápidamente desde los 80 m en la parte sudeste de Reocin a los 200 m en la parte noreste, llegando a pasar los 500 m en el centro y norte del Sinclinal de Santillana, efecto de la fracturación distensiva contemporánea a la sedimentación.
- ✓ **APTIENSE INFERIOR (Beduliense Superior):**
 - o 40 m de calizas margosas cuyo contenido arcilloso disminuye hacia arriba, al tiempo que se hacen más puras y favorables a la dolomitización, que llega a afectar al techo de la misma en una potencia media de 8 m y origina una dolomía oscura, sacaroidea, que es la Dolomía de Muro de Reocin.
 - o 40 m de lutitas negras (Margas del Taller Eléctrico), con algún banco de areniscas aislado y poco potente.

Salvo los metros más altos de las calizas, en conjunto, este Beduliense superior se comporta como impermeable.

Los detríticos del Albiense, tanto del Superior como del Inferior, desaparecen rápidamente en dirección noreste (ya se encuentran muy disminuidos en el extremo oriental de la mina), uniéndose todos los carbonatos para constituir una sola unidad hidrogeológica que denominaremos el **Acuífero de Reocin**. Éste, en superficie, es cortado por el río Saja en dos puntos, Golbardo, al oeste de la mina, y Torres, al este de la misma, actuando el río como una barrera hidrogeológica a la afección de la superficie freática por efecto del bombeo de la mina y determinando, así, una subunidad, dentro del acuífero, en la que se disponen todos los puntos de control de la inundación.

El Acuífero de Reocin se encuentra completamente dolomitizado en el ámbito del yacimiento, siendo el paso a calizas drástico y casi inmediato al borde de la mineralización por el oeste y más gradual y alejado de ella por el este. Ambos materiales, calizas y dolomías, tienen un comportamiento hidrogeológico muy distinto, estando

las calizas fuertemente karstificadas y presentando una alta transmisividad, mientras que las dolomías están poco karstificadas y su transmisividad es muy pequeña.

Por este motivo, la entrada de agua en la mina se da fundamentalmente por el oeste, donde el Acuífero hasta el río en Golbardo es fundamentalmente calizo, con entrada de agua desde el propio río y por recarga en el afloramiento, fuertemente karstificado, mientras que la entrada por el este es mínima, pues el Acuífero es aquí prácticamente dolomítico en su totalidad hasta el río en Torres, y presenta, por tanto, muy baja transmisividad.

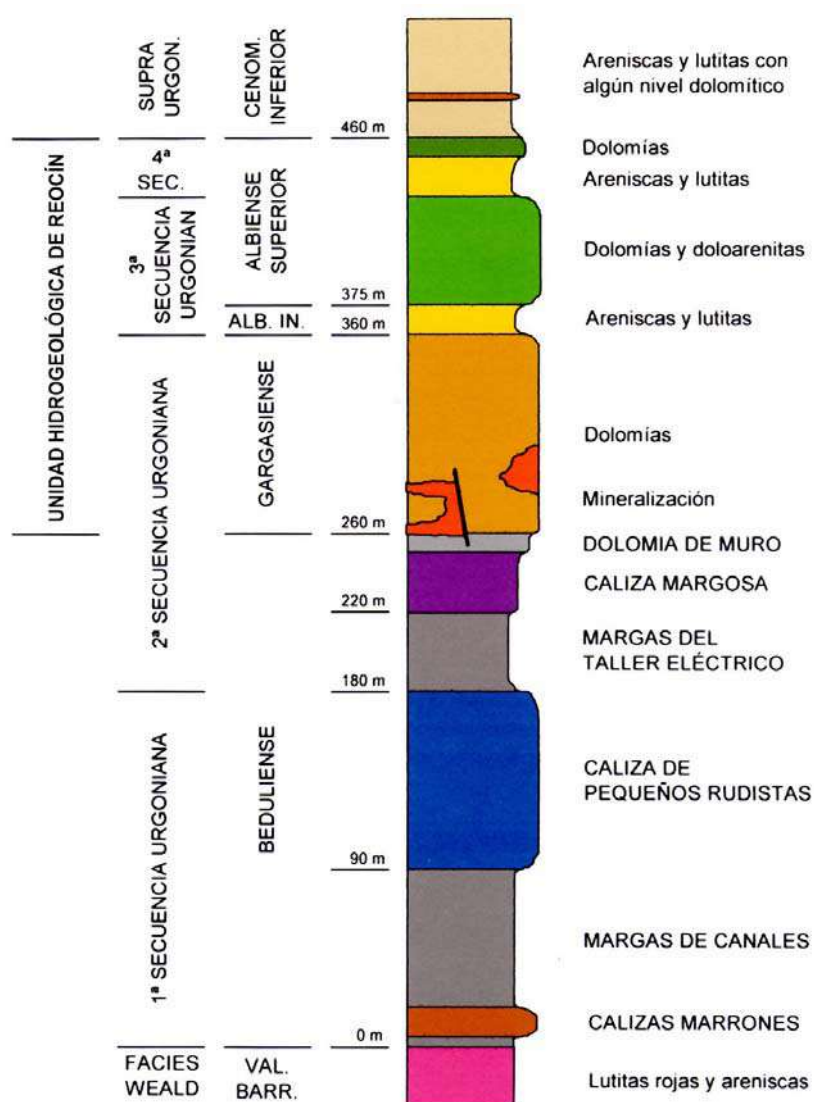


Figura 3. Columna estratigráfica

ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS INICIALES. PLAN DE CONTROL MEDIOAMBIENTAL. FASES DE LA INUNDACIÓN

La envergadura del problema de inundación de la mina y el desconocimiento previo de algunos aspectos relativos a la hidrogeología del yacimiento, hicieron que los estudios se sucediesen y se completasen a medida que iban comprobándose o descartándose las hipótesis de trabajo de las que se había partido.

Han participado como consultores externos, en hidrogeología, los equipos encabezados por los profesores Rafael Fernández Rubio, Fernando Pendás Fernández y Jorge Loredo Pérez. En mecánica de rocas se ha contado con la colaboración de los profesores Pedro Ramírez Oyanguren y César Sagasetta Millán.

En el proceso de inundación de la mina han sido competentes el Gobierno de Cantabria, a través de las Consejerías de Industria y de Medio Ambiente, y el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Confederación Hidrográfica del Norte. Han sido de gran interés las aportaciones y comentarios de los funcionarios de los organismos citados, así como los realizados por los técnicos del Instituto Geológico y Minero de España, que ha actuado como asesor de las diferentes administraciones involucradas en este asunto.

La obtención de autorizaciones de inundación se prolongó extraordinariamente en el tiempo. Como consecuencia, el desagüe se mantuvo en marcha durante diecinueve meses, tras el cese de la actividad extractiva, a la espera de la obtención de los permisos citados y con el coste correspondiente.

La parada de las bombas (y el comienzo de la inundación) tuvo lugar el día uno de noviembre de 2004, a las cero horas, para cumplir lo dispuesto por la Confederación Hidrográfica del Norte en su resolución de autorización de vertido. Al mismo tiempo, con el agua en ascenso, se puso en marcha un plan de control medioambiental y la compañía inició el registro de los datos piezométricos y químicos que podrían variar a medida que la inundación progresaba y también de la pluviometría. Como referencia se utilizaron los numerosos valores tomados a lo largo de los años de operación y bombeo desde la cota -305m y los datos históricos pluviométricos de la comarca.

El área crítica, en la que podrían producirse fugas de agua, es el macizo rocoso que separa por el noreste la mina y el río Saja. La cota más baja a la que se encuentra el cauce de este río en esa zona, llamada también de Torres / Ganzo, es la +14m. En ese lugar la formación carbonatada en que arma el yacimiento, y donde se encuentra el acuífero, toma contacto con el río aguas abajo de la mina.

En la figura 4 puede verse un plano donde se señalan todos los puntos de control y muestreo fijados en el plan de control medioambiental, incluidos los correspondientes a las aguas superficiales. Se aprecia la gran densidad de puntos situados al noreste de la explotación a cielo abierto, para conocer el comportamiento del agua en el área crítica mencionada en el párrafo anterior.

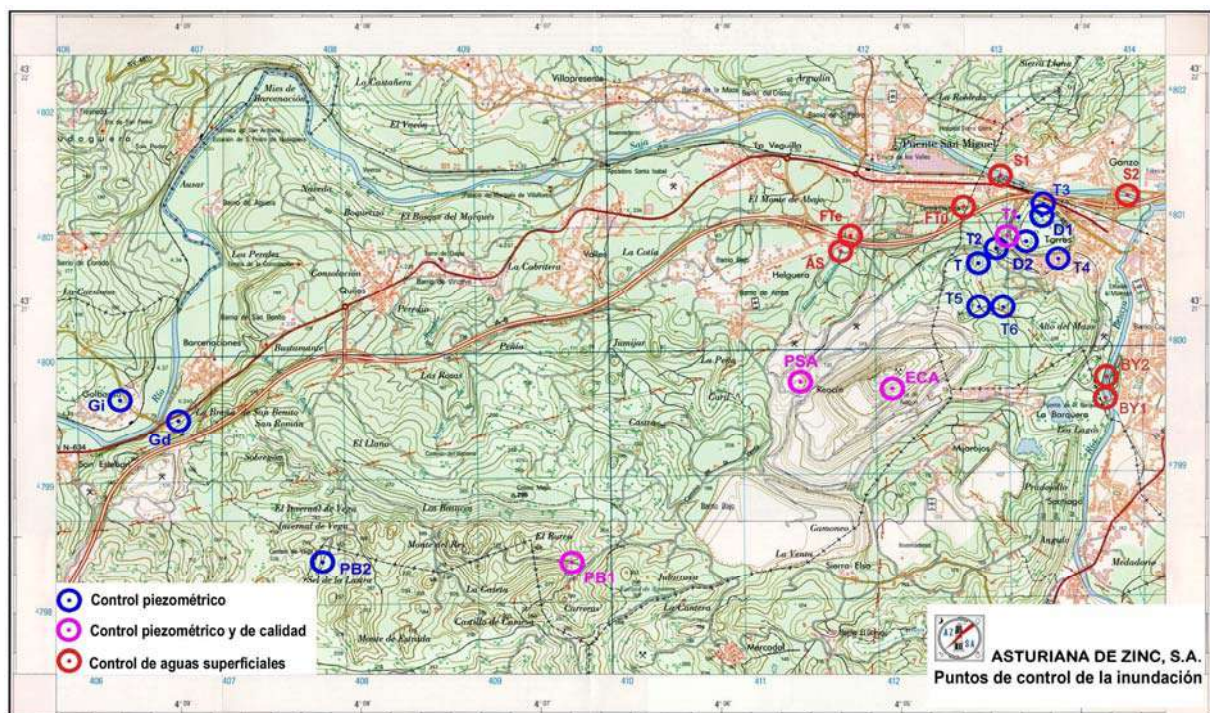


Figura 4. Plan de actuación medioambiental. Puntos de control

La inundación se está ejecutando por etapas sucesivas de llenado y de mantenimiento del nivel a una cota dada. La parada de la inundación se consigue mediante bombeo del agua desde la cota de referencia hasta la cota +60m. Las etapas fueron las siguientes:

- ✓ **FASE 1:** Llenado desde la cota -272m hasta la cota +13m. Se inicia el 01/XI/2004 y finaliza el 17/IV/2006. Bombeo hasta el 06/VIII/2007.
- ✓ **FASE 2:** Llenado desde la cota +13m hasta la cota +34m. Se inicia el 06/VIII/2007 y finaliza el 9/IV/2008. Se reinicia el bombeo.

En este momento el agua se encuentra a la cota +34m, desde donde se bombea hasta la cota +60m. Se espera iniciar muy pronto la **FASE 3**, consistente en la inundación total de la mina hasta el equilibrio o el rebose.

CONTROL Y MEDIDA DE CAUDALES DE LLENADO

La medida del caudal de llenado, según la cota, ha sido una de las actividades necesarias para el seguimiento del proceso de inundación y para conocer mejor el funcionamiento del acuífero. Además, de la medida de esos caudales, dependían el dimensionado de las bombas y de las tuberías, el tipo de tratamiento y el tamaño de la planta fisicoquímica una vez decidida su construcción. En la figura 5 pueden verse

las curvas de caudal frente a cota del agua y de ascenso diario frente a cota del agua.

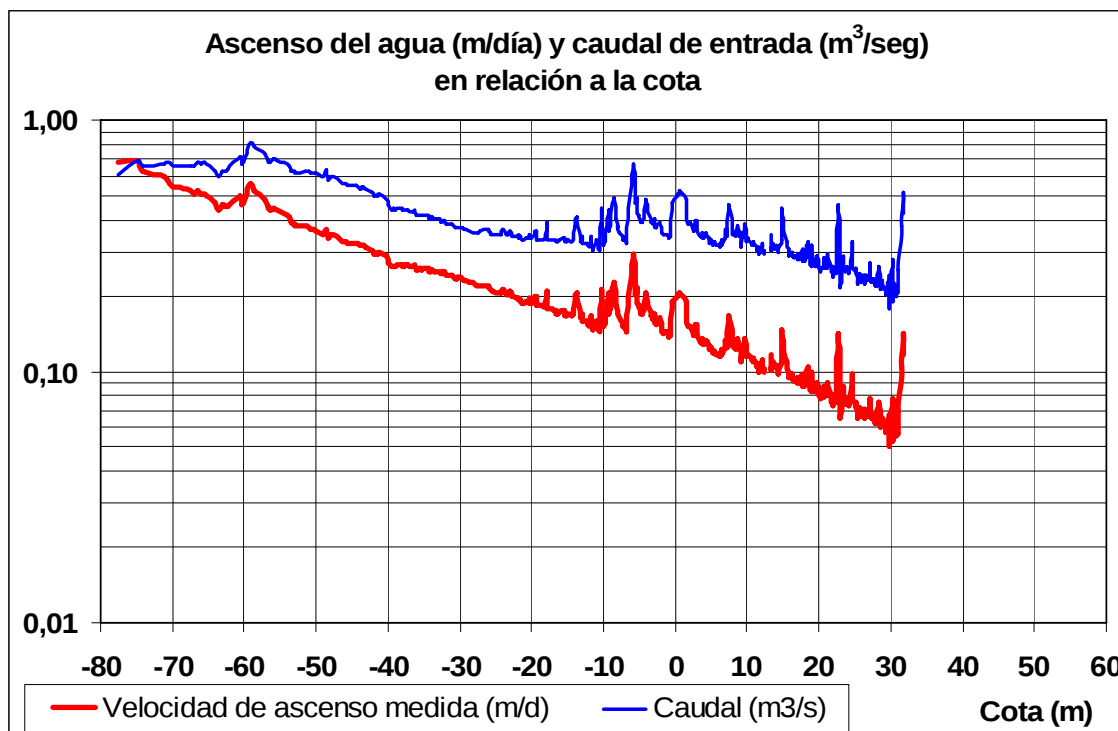


Figura 5. Velocidad de ascenso del agua en metros por día y caudal de entrada en metros cúbicos por segundo, en relación con la cota del agua

Nótese que el caudal es prácticamente constante entre las cotas -10m y +10m, con valores cercanos a los 350L/seg.

Estas medidas se complementaron con las de pluviometría, que permitían hacer balances y explicar las variaciones puntuales de las curvas

En la figura 6 puede verse el detalle del ascenso del agua entre las cotas +13m y más 31.5m. Corresponde a la segunda fase de la inundación y se ha utilizado para estimar la cota máxima de llenado que parece alcanzarse por encima de la +50m. Se trata, de momento, de un dato sin contrastar mediante medidas por encima de la cota +32m. Nótese que a lo largo del proceso de inundación el caudal se ha mantenido constante a pesar de los aumentos que se producían en la cota del agua. Otras hipótesis y datos históricos permiten sostener que el agua alcanzará la cota +60m y rebosará por el borde sur de la corta en dirección al río Besaya.

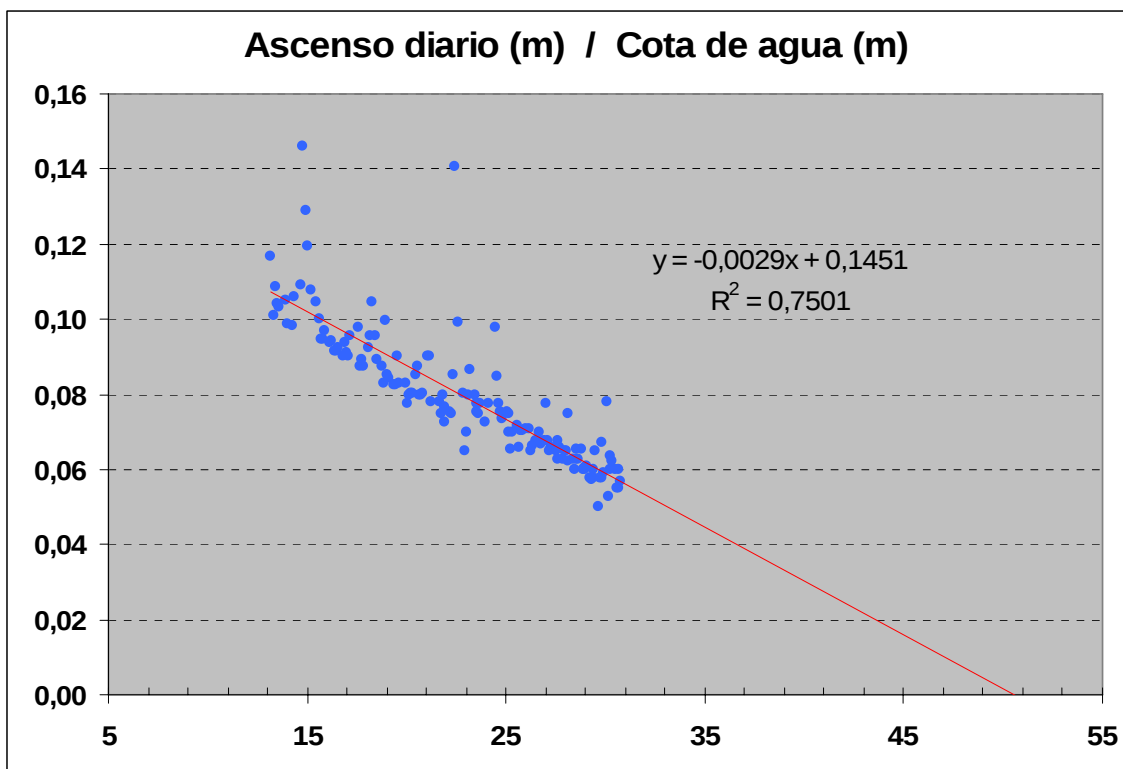


Figura 6. Ascenso diario frente a cota del agua

CONTROL PIEZOMÉTRICO. FLUJOS SUBTERRÁNEOS

Uno de los aspectos medioambientales y de coste que preocupaban a la Confederación Hidrográfica del Norte y al Gobierno de Cantabria era la detracción de agua en el sistema hidrográfico Saja / Besaya mientras se producía el llenado de los huecos mineros. Durante ese tiempo, el volumen detraído debería compensarse con el aumento de bombeo en el bitrasvase Ebro / Besaya. La compañía estaba obligada a hacerse cargo de ese gasto.

Con el fin de conocer a lo largo del tiempo la afección real del río en la zona principal de entrada de agua a la mina (oeste, o de Golbardo / Barcenaciones), se ha llevado a cabo el control piezométrico del acuífero en esa zona. Su resultado puede verse en la figura 7.

El control se inicia con el acuífero deprimido por el bombeo de la mina en operación y con el agua situada en la cota +70m en la margen derecha del Saja. Como puede apreciarse el río es siempre ganador por la margen izquierda. Por la margen derecha, donde se encuentra la mina, es ganador en periodo de lluvias y perdedor en estío, pero debe notarse que el nivel de agua en el acuífero es cada vez más alto en estío, como corresponde al llenado esperado de los huecos mineros y del acuífero.

La detracción de agua es cada vez menor y este hecho tiene trascendencia económica importante.

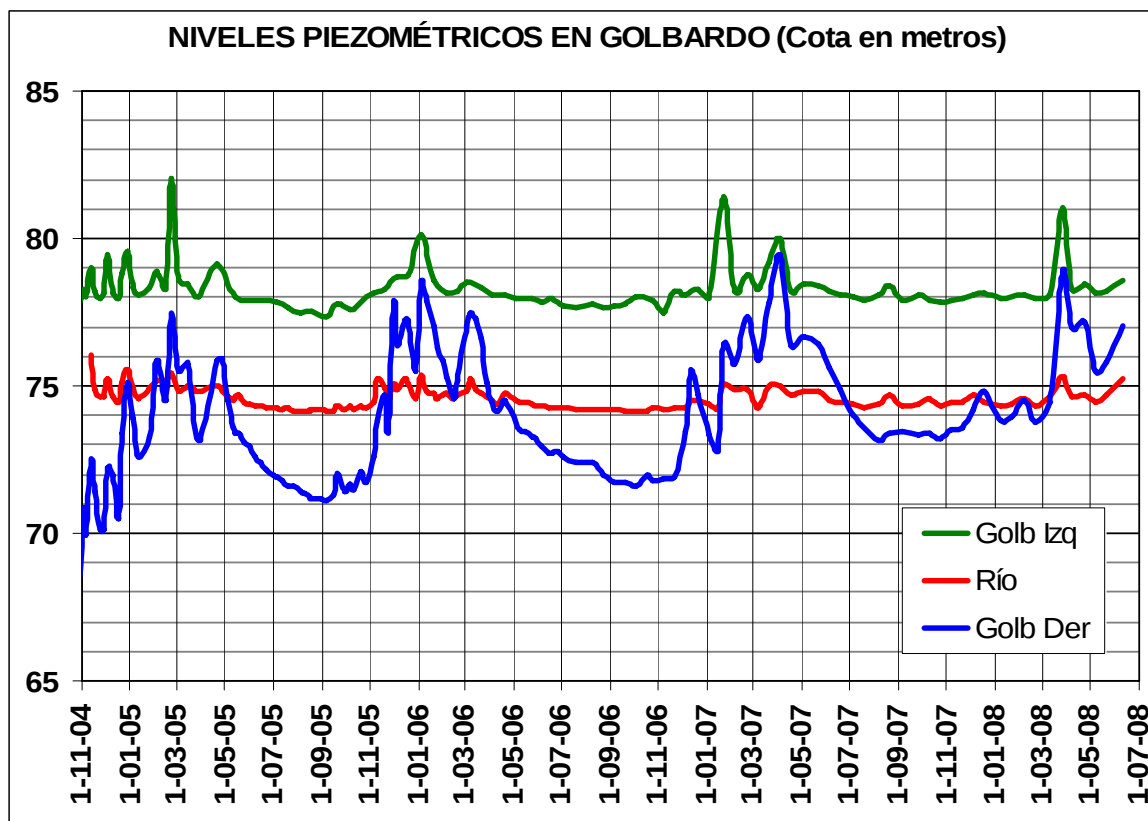


Figura 7. Piezometría en el oeste (Golbardo / Barcenaciones)

En la zona noreste, la piezometría muestra la existencia permanente de un umbral hidrogeológico que divide la circulación de las aguas subterráneas hacia la mina y hacia el río Saja en esa zona, también llamada de Torres / Ganzo. En la figura 8 puede verse este umbral y la variación de la cota del agua en los diferentes piezómetros junto al aumento de cota en la mina.

La interpretación de los datos obtenidos en estos y en otros puntos de control piezométrico y el análisis de permeabilidades han permitido la elaboración de un modelo matemático para estimar los flujos subterráneos.

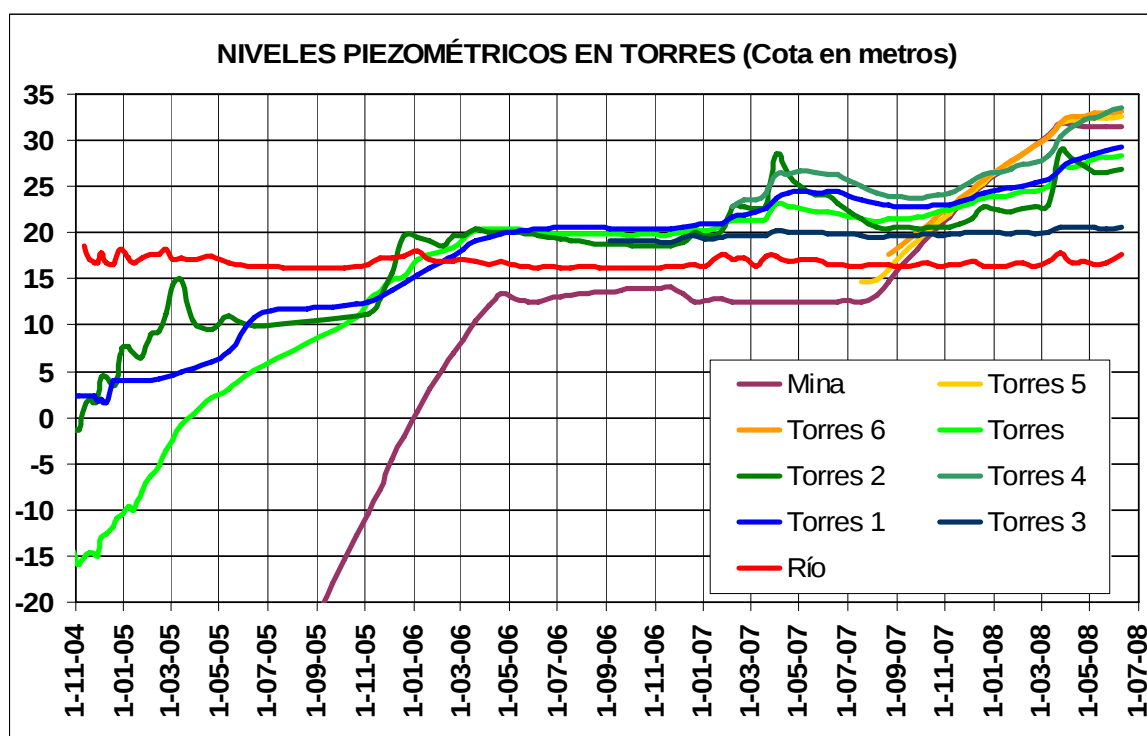


Figura 8. Piezometría en la zona noreste. Zona de permeabilidad baja

Este modelo se reprodujo para diferentes niveles de llenado y en la figura 9 puede verse la representación de la piezometría para inundación hasta la cota +60m.

Tal como era de esperar, tras lo observado durante los años de explotación en la zona noreste de la mina, los datos medidos con los piezómetros y los cálculos del modelo corroboraron la opinión general de que el macizo noreste es sensiblemente menos permeable que la roca situada al norte y al oeste de la mina.

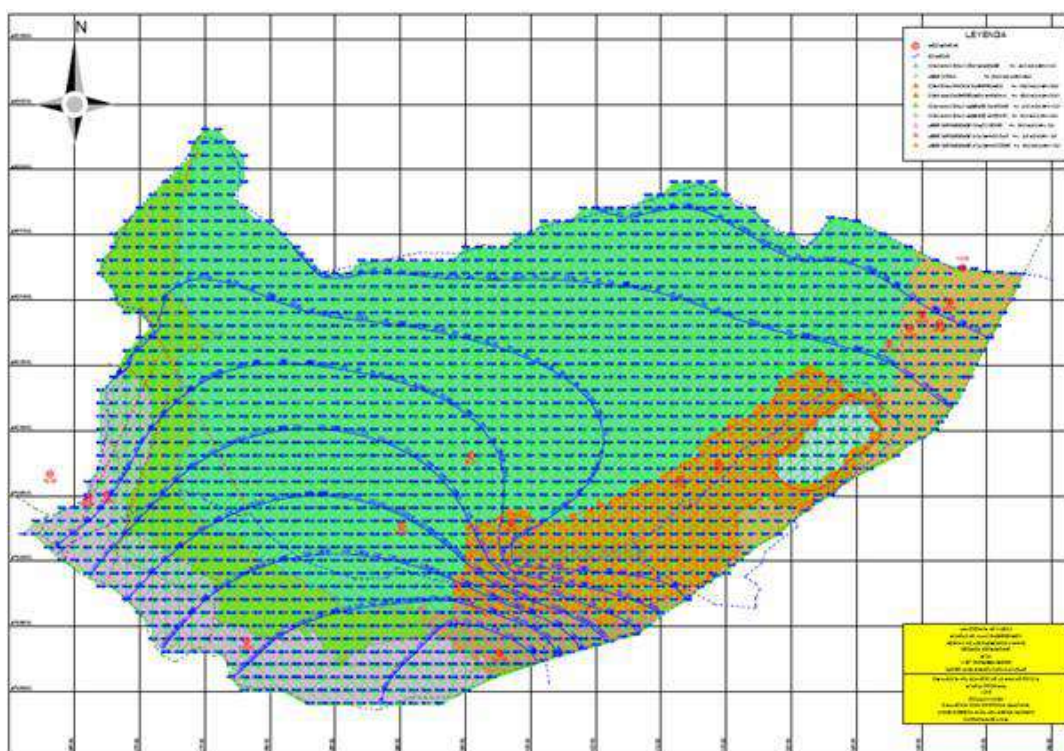


Figura 9. Simulación de la piezometría con el agua a la cota +60m (F. Pendás, J. Loredo, "et al". ETSIMO)

FUNCIONAMIENTO REAL DEL ACUÍFERO

Transcurridos ya más de tres años y medio desde el comienzo de la inundación y analizados, como se ha visto, los numerosos datos obtenidos, se ha alcanzado un conocimiento grande sobre el funcionamiento del acuífero. Los aspectos más importantes son los siguientes:

- ✓ La disminución del gradiente hidráulico, como consecuencia del aumento de la cota del agua en la mina y en el acuífero, ha dado lugar a una reducción significativa del caudal, que ha descendido desde 1.20m^3 por segundo a la cota -272m , hasta 0.23m^3 por segundo a la cota $+34\text{m}$, medido este último caudal en un periodo de sequía extrema.
- ✓ El agua no alcanzará el equilibrio por debajo de la cota $+52\text{m}$, pudiendo llegar a rebosar en la cota $+60\text{m}$, a pesar de la reducción importante de caudal indicada en el apartado anterior.
- ✓ El macizo noreste que separa la mina y el río Saja en Ganzo es relativamente impermeable, siendo despreciables los caudales de circulación hacia el río, si llegan a producirse. En esta zona del acuífero, se ha medido un umbral o domo hidráulico, indicador de que la explotación a cielo abierto continúa ac-

tuando como zona de drenaje o colectora de aguas subterráneas. Como se esperaba, éstas siguen circulando hacia la mina en esa parte del acuífero con el agua en la cota +34m, a pesar de que el río se encuentra a la cota +14m.

- ✓ Los análisis de aguas superficiales en el río Saja, aguas arriba y aguas abajo del corte con el afloramiento de la formación carbonatada en que arma el yacimiento, muestran que no existe variación en sus contenidos metálicos y permite asegurar que no se produce ninguna fuga hacia el río procedente de la mina.
- ✓ Los análisis de aguas subterráneas realizados en las muestras tomadas en los sondeos de control no muestran aumentos en sulfatos ni en metales, por lo que no se ha producido ningún tipo de migración de esos iones desde los huecos mineros hacia el acuífero.
- ✓ La detracción de agua en el río Saja es muy inferior a la inicial, por lo que ha podido disminuirse notablemente el gasto de agua bombeada desde el pantano del Ebro a la cuenca del Besaya.

TRATAMIENTO DEL AGUA DE VERTIDO

Los estudios realizados antes de iniciar el proceso de inundación mostraban que era de esperar una calidad mala del agua cuando esta alcanzase la cota de bombeo.

A pesar de ello, durante algún tiempo en los momentos iniciales, se pensó en la viabilidad de sistemas de depuración pasiva. La constatación de que los caudales de achique eran muy altos hizo desechar esa opción, atractiva desde el punto de vista del marketing medioambiental pero imposible de aplicar con caudales y con contenidos en metales elevados. La compañía optó, en esas circunstancias, por construir una planta de tratamiento con cal, fabricada con tecnología propia, con capacidad para tratar 750L/seg de agua con contenidos en hierro de 200mg/L. La planta ha funcionado a plena satisfacción permitiendo realizar un vertido de calidad con contenidos en metales significativamente más bajos que los establecidos por la legislación vigente.

MEJORA DE LA CALIDAD DEL AGUA DE INUNDACIÓN. EFECTO NEUTRALIZADOR DE LA DOLOMÍA ENCAJANTE

Tras el lavado inicial de las labores, la calidad del agua ha mejorado extraordinariamente, hasta el punto de que en este momento la planta de tratamiento se encuentra parada porque el agua de inundación reúne ya condiciones de vertido. Su pH se encuentra en valores próximos a 8.

El lago de la corta alterna periodos de agua homogénea (Invierno) con periodos de estratificación (Verano) pero el pH general no baja de 6.4 desde junio de 2006. Su aspecto es muy bueno durante todo el año y no se esperan, en el futuro, precipitados de hidróxido férrico como los que se produjeron en el pasado, que lo teñían de rojo. En las figuras 10 y 11 puede verse la evolución del hierro y del zinc, respectivamente, desde el comienzo de la inundación.

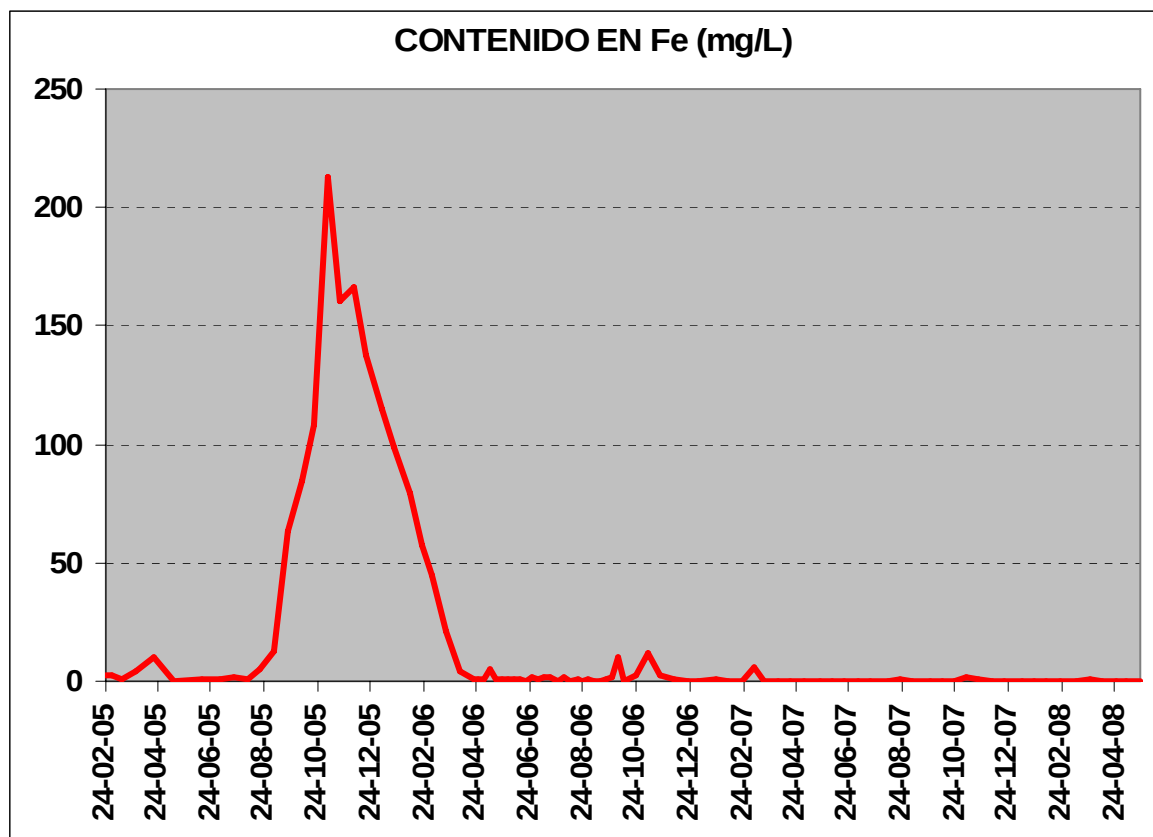


Figura 10. Agua de inundación. Contenido en hierro

La mejora del quimismo mencionada, se debe a tres factores:

- (a) El lavado de los huecos mineros está casi completamente finalizado.
- (b) La entrada constante de agua procedente del acuífero diluye los contenidos en sales.
- (c) La roca encajante del yacimiento es dolomía (carbonato cálcico magnésico) y neutraliza las aguas ácidas que se forman en el contacto sulfuro / oxígeno / agua, dentro de la mina.

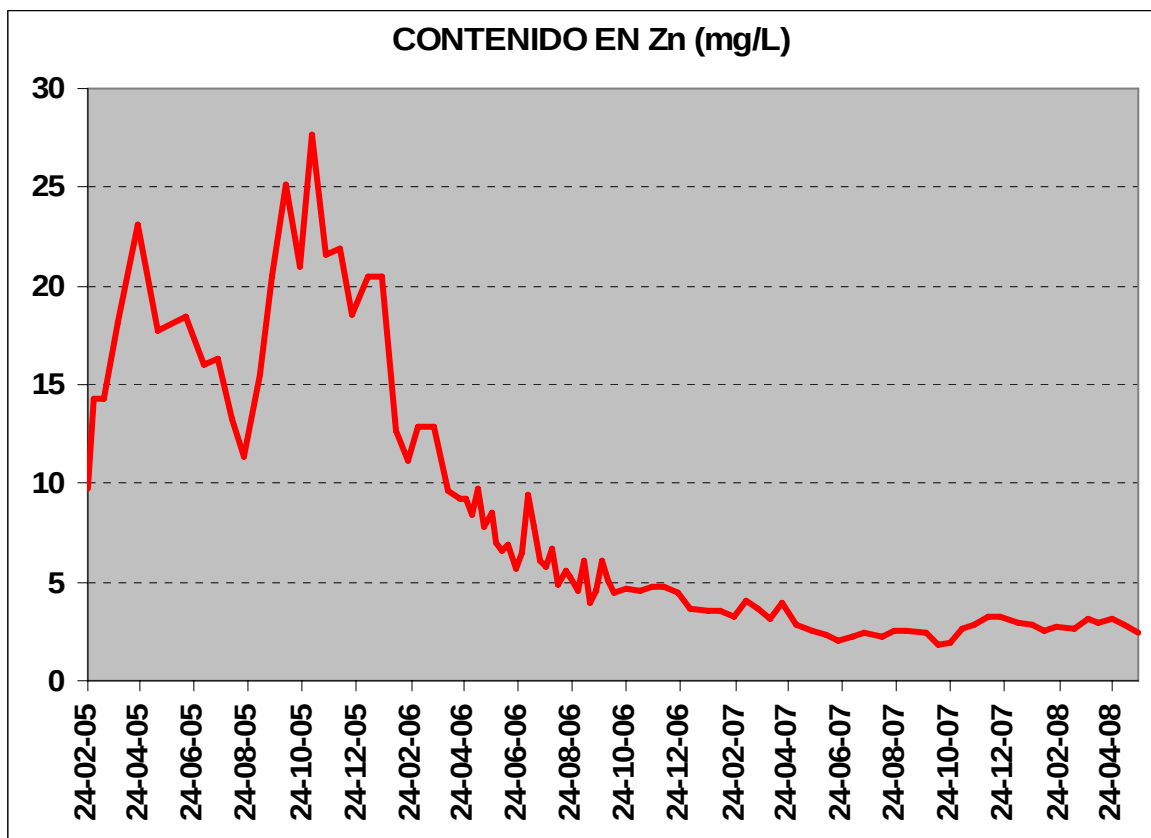


Figura 11. Agua de inundación. Contenido en zinc

Ensayos *in situ* realizados por el personal técnico de la mina y ratificados por el Instituto Geológico y Minero de España en el laboratorio, permiten asegurar que la dolomía de Reocin reacciona intensa y rápidamente en aguas con pH ligeramente inferior a 7, provocando su corrección y la precipitación inmediata del hierro y de los demás metales. Ello permite asegurar que si el agua llegara a circular a través de la dolomía en dirección al acuífero o al río, la carga de elementos contaminantes de este tipo desaparecería por precipitación en un entorno muy próximo a la superficie de contacto entre el agua y la dolomía en los huecos mineros. Las figuras 12 y 13 muestran el resultado de los ensayos.

La compañía ha firmado un convenio de colaboración con el Instituto Geológico y Minero de España, que controla la calidad del agua en superficie y a diferentes profundidades dentro de la corta, mejorando con ello el conocimiento del comportamiento químico de la masa de agua a lo largo del tiempo.



Figura 12. Ensayo *in situ* de disminución del hierro por efecto de la dolomía de Reocin

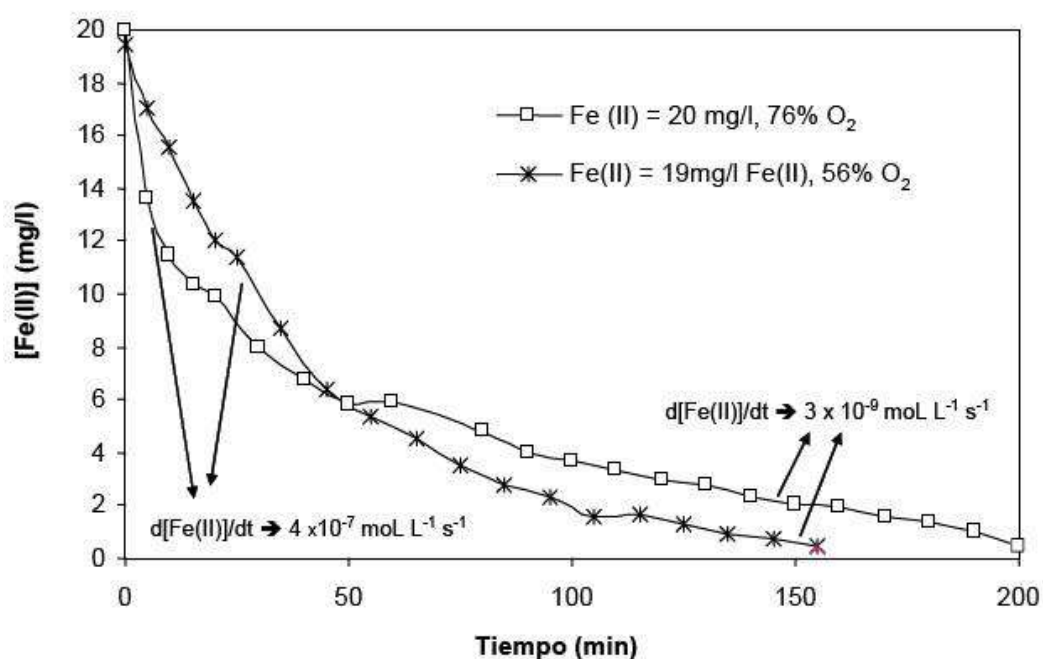


Figura 13. Experimento de oxidación de Fe(II) en agua equilibrada con dolomía de Reocin. Condiciones de Fe(II)=20mg/L y déficit de oxígeno disuelto (E. López Pamo, J. Sánchez España "*et al*". IGME)

LA INUNDACIÓN TOTAL. APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Los resultados obtenidos hasta ahora muestran que el llenado de la mina se ha realizado de manera totalmente controlada y sin riesgos. La etapa siguiente en este proceso es la inundación total de la explotación.

Desde el punto de vista químico no es previsible el empeoramiento de la calidad del agua. Al contrario, se espera todavía una mejora importante en los contenidos en sulfatos y una disminución aun mayor de los contenidos en zinc que, como se dijo, ya se encuentran por debajo de los límites de vertido.

Desde el punto de vista geomecánico no existen inconvenientes y la antigua galería de El Vallejo situada a la cota +35m, colapsada hace años y taponada en sus bocas sur y norte, se encuentra rellena de arcillas y con carga hidráulica suficiente para asegurar su estanqueidad, tal como se ha comprobado con los sondeos y trabajos de reconocimiento de la misma.

Desde el punto de vista hidrogeológico, el nivel final del agua se situará entre las cotas +52m y +60m. En este último caso se produciría el rebose natural de la explotación a cielo abierto, sin riesgo medioambiental alguno, dado que la situación es reversible en todo momento.

Una vez realizada la inundación total de la mina, debe considerarse la posibilidad de utilización del agua. El lago minero de Reocin es por capacidad el segundo embalse de Cantabria después del pantano del Ebro. Su situación geográfica en el centro de la región y la mejora constante de la calidad del agua abren muchas oportunidades en relación con su aprovechamiento futuro como agua industrial o incluso como agua de uso doméstico.



Figura 14. Aspecto actual de la explotación a cielo abierto

BIBLIOGRAFÍA

Alonso López, J.A. Informes internos. Asturiana de Zinc, S.A. Torrelavega (Cantabria)

Fernández Rubio, R. 2004. Estudio hidrogeológico del Sinclinal de Santillana relacionado con el cese del bombeo del agua de la mina de Reocin. FRASA Ingenieros Consultores. Madrid

López Pamo, E., Sánchez España, J. "*et al*". 2008. Limnología físico-química del lago formado durante la inundación de la corta de Reocin. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid

Pendás Fernández, F., Loredó Pérez, J. "*et al*". 2006. El subsistema hidrogeológico de Reocin. Consecuencias del cese del bombeo en la mina. ETS de Ingenieros de Minas. Oviedo