

# **UN PROYECTO PARA LA GESTIÓN ÓPTIMA DEL AGUA DE UN ACUÍFERO AFECTADO POR UNA MINA SUBTERRÁNEA**

Javier Toraño Álvarez<sup>p</sup>, Mario Menéndez Álvarez y Rafael Rodríguez Díez  
Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo

## **RESUMEN**

La introducción de métodos de explotación con hundimiento en una mina subterránea sobre la que existía un acuífero relativamente importante planteó la necesidad de estudiar cómo se vería afectado el acuífero por la explotación y cuál sería el caudal de agua llegaría a la mina. A partir del conocimiento adquirido de la hidrogeología del entorno y del ciclo de agua en la propia explotación minera se planteó la posibilidad de llevar a cabo un proyecto de drenaje preventivo en avance consistente en bombear agua del acuífero antes de que ésta llegue a la mina. En el presente trabajo se estudia esta solución la cual aporta seguridad desde el punto de vista minero, es más respetuosa con el Medio Ambiente y es interesante desde el punto de vista técnico-económico.

Palabras-clave: Agua de Mina, Abastecimiento de Aguas, Modelos Hidrogeológicos, Impacto Ambiental

## **ABSTRACT**

The introduction of new caving mining methods in an underground coal mine, over which a moderate important aquifer exists, made it necessary to study how the aquifer could be influenced by these mining works and to estimate the future water inflow. From the knowledge about the hydrogeology around the mine and the mine water cycle, an advanced preventive drainage project, consists in pumping water from the aquifer before it flows down to the mine, has been started. In this paper the solution, that is better for the mine safety, for the environment, and is interesting from a technical and economical point of view, is described.

Key-words: Mine Water, Water Supply, Hydrogeological Models, Environmental Impact

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN INICIAL

El yacimiento carbonífero en explotación (Areces et al. 1994a) se asienta en un horst limitado por dos fallas normales (figura 1). Sobre el Carbonífero productivo se depositaron en clara discordancia angular los materiales Pérmicos que constituyen la actual cobertera de unos 150 m de potencia en la cual la unidad de margas rojas oquerosas puede ser considerada acuífero desde el punto de vista de su repercusión en la mina (Areces et al. 1994b). La geometría de dicho acuífero se adapta a la estructura general posttectónica y posterosiva de la cobertera.

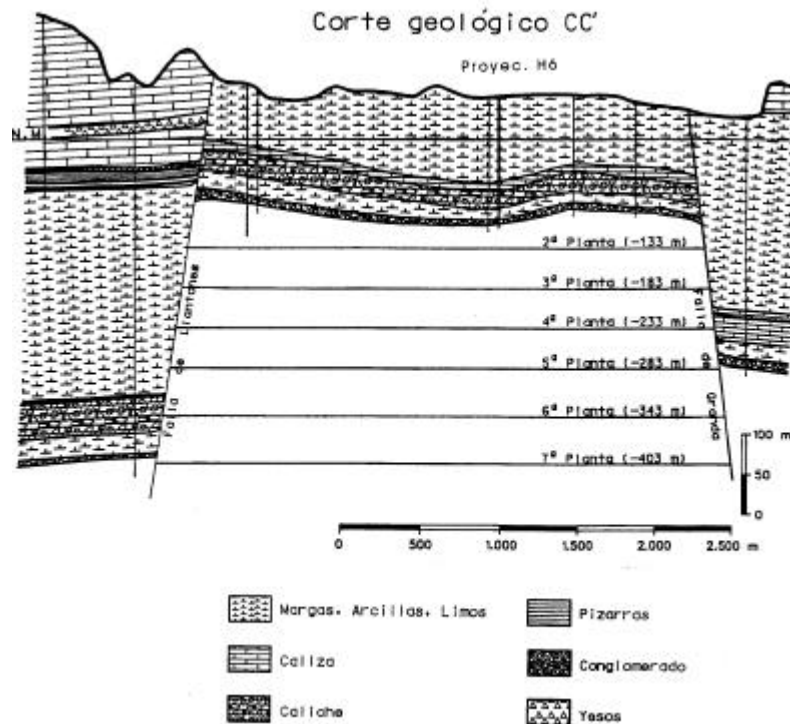


Figura 1: Corte geológico con la cobertera pérmica

De una forma simplificada, se puede afirmar que la recarga del acuífero se realiza fundamentalmente a través de las precipitaciones mientras que la descarga se realiza fundamentalmente por evapotranspiración, infiltración a la mina y drenaje a ríos y pequeños manantiales repartidos por la zona. Los datos de piezometría ponen de manifiesto la evidencia de un flujo de las aguas subterráneas con unas componentes vertical y horizontal que responden a la disposición de la propia estructura, con un gradiente general de dirección SO-NE (figura 2).

En la situación que puede considerarse inicial, el aporte de agua desde el acuífero a la mina se produce de una manera más o menos homogénea a través de todo el

contacto Pérmico-Carbonífero dirigiéndose hacia las zonas en explotación. Existen tres puntos singulares en los que se observa una mayor afluencia de agua: una zona en la que antiguamente se explotó hasta el mismo contacto Pérmico-Carbonífero (zona 1), la falla que limita al Este hacia la cual se dirige el flujo en el propio acuífero (zona 2) y un área donde se concentran las explotaciones con hundimiento (zona 3). Todo el caudal de agua que llega a la mina, unos 78.2 m<sup>3</sup>/h, se conduce hacia las plantas situadas a cotas -221 m, -372 m y -492 m en las que existen instalaciones de bombeo, construidas a medida que se profundizaba la mina, que envían el agua a la superficie (figura 2). De los 78.2 m<sup>3</sup>/h, unos 3 m<sup>3</sup>/h se destinan al abastecimiento de la casa de aseo y el resto se va con el mineral vendible, se evapora en las balsas de decantación...etc.

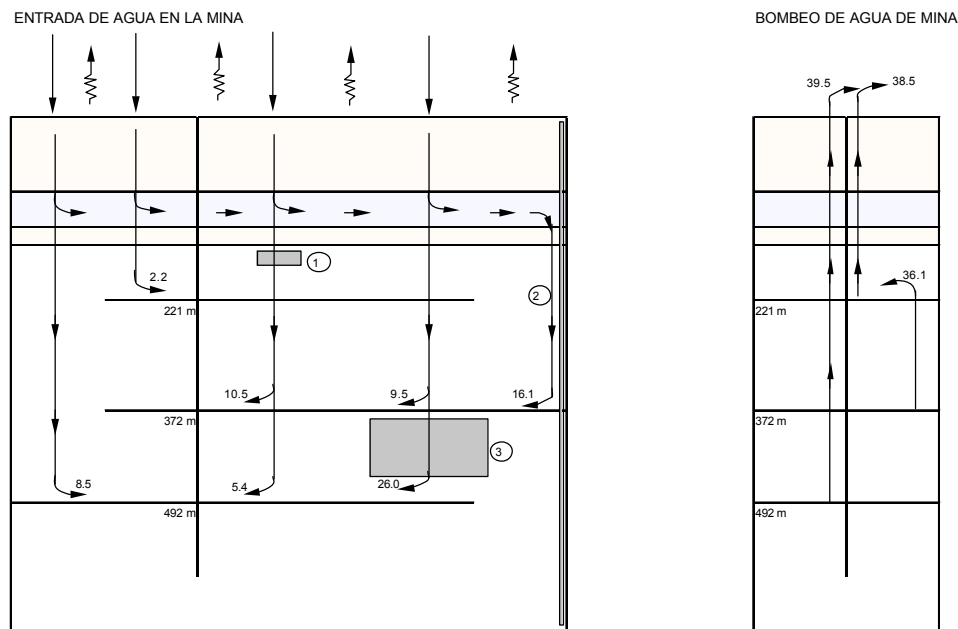


Figura 2: Distribución de caudales en la mina en la situación inicial

En general, el agua en la mina es siempre origen de problemas. Unos, como la dificultad de desplazamiento de la maquinaria, los tiempos muertos debidos a fallos eléctricos, la disminución del horario de trabajo o la necesidad en algún caso de parar tajos de explotación por motivos de seguridad, tienen gran repercusión aunque son de difícil cuantificación económica. Sin embargo, existen otros problemas fácilmente cuantificables como son el bombeo de agua desde esas profundidades y la depuración y vertido de agua a la red de saneamiento o a un río. En el presente estudio sólo se han tenido en cuenta estos últimos, aunque los beneficios de la solución que se propone siempre serán mayores que los puramente económicos.

## 2. EVOLUCIÓN DE LA SITUACIÓN A CORTO-MEDIO PLAZO

Como es habitual en este tipo de minería, las explotaciones con hundimiento produjeron la aparición de movimientos del macizo rocoso a gran escala (Rodríguez y Toraño 2000, Toraño et al. 2000). A partir del seguimiento de la variación de los niveles piezométricos y la permeabilidad en el acuífero y de la variación de los caudales que se registraban en la mina (Cudeiro et al. 1999, Rodríguez y Toraño 2000), se desarrolló un modelo hidrogeológico utilizando el programa ModFlow con el que se realizó una previsión de las entradas de agua en la mina a corto y medio plazo. A partir de los estudios se preveía una mayor afluencia de agua, con un incremento total de un 25% (figura 3).

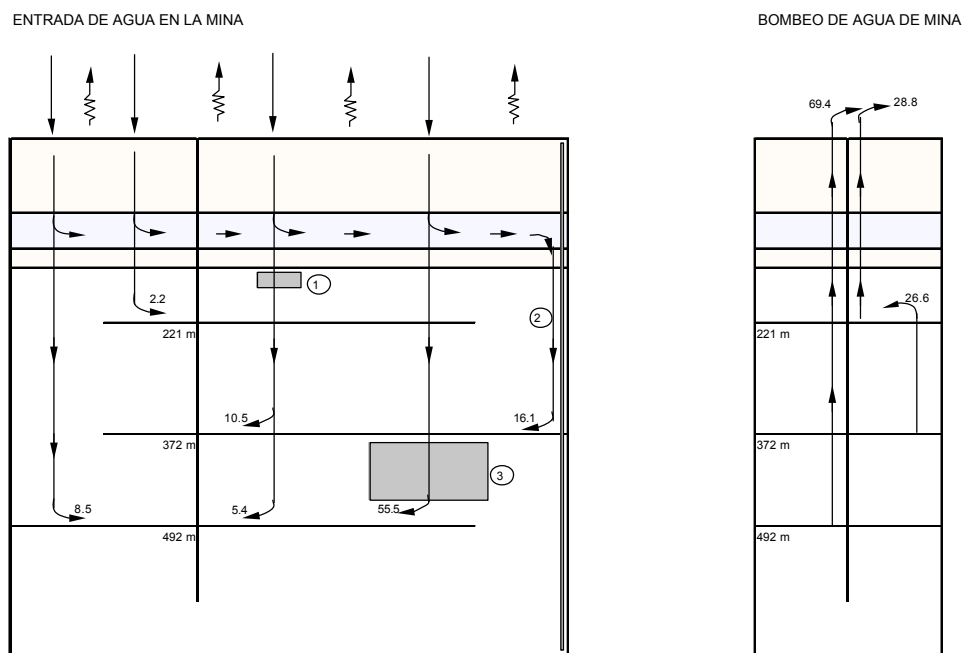


Figura 3: Distribución de caudales en la mina prevista a corto-medio plazo

Como consecuencia de esto, se ha de bombear más caudal desde más profundidad aumentando consecuentemente los costes en este capítulo. También aumenta el caudal de agua a tratar como efluente con unos costes (depuración, cánon ecológico) que son moderados si se vierte directamente al río como es habitual en esta minería al no existir contaminación química. Ahora bien, en casos especiales (zonas protegidas, áreas turísticas...etc.) puede ser no aconsejable esta solución, debiendo recurrirse entonces al vertido del caudal a la red de saneamiento municipal (con el pago de una tasa al correspondiente ayuntamiento) lo cual incrementa de manera importante dicho coste.

### 3. SOLUCIÓN MEDIANTE DRENAJE PREVENTIVO EN AVANCE

Como alternativa a dicha situación futura, se planteó un proyecto de drenaje preventivo en avance, bombeo de agua limpia del acuífero antes de su entrada a la mina con una aplicación creciente en la minería (Fernández Rubio 2001).

De anteriores campañas se sabía que el agua del acuífero resultaba apta para el consumo sin ningún tipo de tratamiento por lo que se pensó en hacer un sondeo para abastecimiento de agua a la casa de aseos que también serviría para obtener nueva información del acuífero. El sondeo se dió hasta 80 m de profundidad y se entubó con tubería de 200 mm. En él se realizaron bombeos de ensayo de larga duración obteniéndose un caudal de explotación superior a 20 l/s, un radio de influencia de unos 500 m y un descenso piezométrico máximo hasta 1/3 del actual. A partir de estos nuevos datos y apoyándose en el modelo hidrogeológico se diseñó el sistema de drenaje consistente en una línea de 5 sondeos perpendicular a la componente horizontal del flujo de agua localizados antes de las explotaciones, los cuales actuarían como barrera frente a la circulación del agua a través del acuífero. Consecuencia del drenaje del acuífero, el caudal recogido en la mina en la zona más allá de la barrera de sondeos se reduciría en un 75% (figura 4). En el estudio se tuvo en cuenta la superposición de la subsidencia asociada a las explotaciones con hundimiento y la producida por el bombeo de agua.

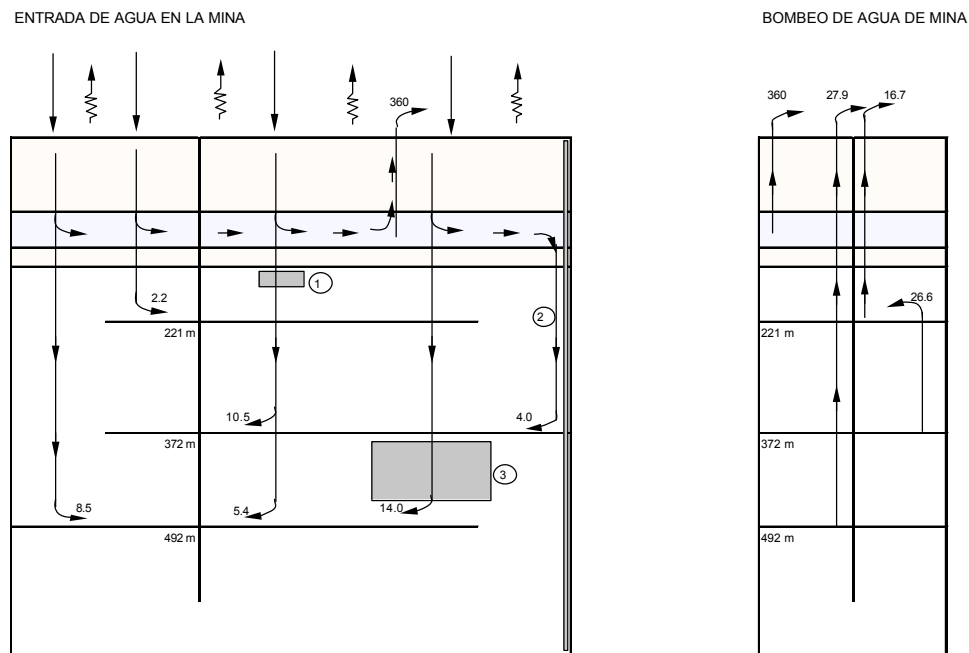


Figura 4: Distribución de caudales en la mina con drenaje preventivo en avance

Consecuencia de estas medidas se tienen dos tipos de ventajas principalmente. Una es que se reduce el caudal de agua recogido en la mina aumentando la seguridad, abaratándose el coste de explotación (mayor número de horas trabajadas, aunque este punto no se tendrá en cuenta en el balance posterior) y disminuyendo los costes del bombeo de agua de mina. Por otra parte, al extraerse de los sondeos agua limpia no es necesario su depuración lo que supone un ahorro importante y permite su vertido al río sin problema alguno. Pero además se abre una nueva alternativa y es la comercialización del agua aprovechando la infraestructura que posee la empresa municipal que explota en las proximidades otros acuíferos.

#### **4. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS**

Segun lo anterior se valorarán 4 posibles alternativas. En dos de ellas se supone la continuidad en cuanto a la gestión del agua de la mina: en una se supone que se vierte al río y en otra a una red de saneamiento. Otras dos parten del drenaje preventivo en avance con el sistema de desagüe actual de la mina o bombeando sólo desde la cota más baja (considera las instalaciones más antiguas obsoletas). Para valorar económicamente las alternativas futuras sólo se han tenido en cuenta los costes debido a ciertos factores. El primero, estimado en base a la propia experiencia, es el coste de bombeo desde las diferentes cotas de la mina suponiendo las instalaciones ya amortizadas y con un rendimiento bajo en las más antiguas. Otro, elaborado también con fuentes propias, es el coste de depuración del agua de mina previa a su vertido a un río o red de saneamiento o previa a su utilización en las duchas de la mina. Por otro lado se ha valorado el coste que supone la tasa por vertido (Ley sobre Abastecimiento y Saneamiento de Aguas en el Principado de Asturias) al cual se le añade un cánon ecológico (Ley de aguas de 1999, Directiva Marco de 2000, Heras 2001). Por último se ha incluido el coste del m<sup>3</sup> de agua obtenido en sondeos de abastecimiento, el cual fue estimado a partir de la (en consonancia con datos publicados, Ballester y Fernández 2000), y los precios habituales en el mercado del agua. En la tabla 1 se resume la valoración económica de las alternativas.

Manteniendo el sistema inicial y suponiendo el incremento de caudal previsible para el futuro, el coste total para la mina por bombeo, tratamiento de aguas y vertidos ascienden a 152 k€/año si es posible el vertido al río o a 323 k€/año si por consideraciones medioambientales se vertiera a la red de saneamiento municipal.

	Maneteniendo el sistema actual				Con drenaje preventivo en avance			
	Alternativa 1		Alternativa 2		Aletrnativa 1		Alternativa 2	
	Caudal	Coste	Caudal	Coste	Caudal	Coste	Caudal	Coste
	m <sup>3</sup> /año	k€/año	m <sup>3</sup> /año	k€/año	m <sup>3</sup> /año	k€/año	m <sup>3</sup> /año	k€/año
Bombeo agua de mina	860232	106	860232	106	390696	47	390696	52
Depuración agua (casa aseo)	26280	3	26280	3	0	0	0	0
Vertido aguas	794532	43	794532	214	324996	24	324996	24
Bombeo agua (casa aseo)	0	0	0	0	26280	1.2	26280	1.2
Bombeo de drenaje	0	0	0	0	3153600	151	3153600	151

Tabla 1: Comparación de las alternativas

En estas condiciones, las alternativas propuestas supondrían un gasto medio de 226 k€/año que no resulta atractivo desde el punto de vista económico según la primera de las hipótesis anteriores pero que lleva a un ahorro de 97 k€/año si se impone el segundo criterio. Ahora bien, el escenario cambia radicalmente si el agua es susceptible de comercializarse. En este caso y suponiendo un precio del agua igual al coste de explotación, la alternativa con drenaje preventivo en avance supondría un coste anual claramente inferior, de 75 k€/año, con un ahorro de 77 k€/año en el peor de los casos. Si además es posible la comercialización del agua a un precio de mercado, el balance total sería positivo con unos ingresos anuales de 153 k€/año.

## 5. CONCLUSIONES

Se presenta un caso de un acuífero afectado por una mina subterránea para el que se propone un drenaje preventivo en avance consiguiéndose una disminución importante de los caudales en la mina y una disminución de los costes en la gestión del agua que puede llegar incluso a unos ingresos netos positivos en el caso de su comercialización en condiciones favorables de mercado.

## 6. REFERENCIAS

- Areces J.L., Pieren A.P., Toraño J., Rodríguez R., 1994. *Nuevos datos sobre la estructura general del Carbonífero en el Horst de La Camocha (Gijón, Asturias)*. Boletín Geológico y Minero, Vol. 105-2, pp 49-59.
- Areces J.L., Tenajas J.L., Toraño J., Pieren A.P., Pendás F., Rodríguez R., 1994. *Caracterización de los parámetros hidráulicos de la Cobertera Pérmica en el Horst*

*del yacimiento carbonífero de Mina La Camocha*. Boletín Geológico y Minero Vol. 105-2, pp 72-85.

Ballester Rodríguez A. y Fernández Sánchez J.A. 2000. *Coste de obtención del agua subterránea en España*. Industria y Minería nº 341, pp 33-36.

Cudeiro O., Rodríguez R., Toraño J., 1999. *Evolution of the permeability in the rock mass related to mining works*. International Congress of Mine, Water and Environment (IMWA). Sevilla, September 1999.

Directiva 2000//CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de Aguas.

Fernández Rubio R., 2001. *Un recurso valiosos: Las aguas de mina*. Industria y Minería nº 345, pp 14-22.

Heras Moreno G. 2001. *Particularidades económicas del agua en España*. Tecnología del agua nº 210, pp 82-102.

Ley 1/94, de 21 de Febrero, sobre Abastecimiento y Saneamiento de aguas del Principado de Asturias.

Ley 46/1999, de 13 de Diciembre, de Modificación de la Ley de Aguas 29/1985.

Rodríguez R. y Toraño J., 2000. *Hypothesis of the multiple subsidence trouhg related to very steep and vertical coal seams and its prediction through profile functions*. International Journal of Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 18-4, pp 289-311.

Rodríguez R. y Toraño J., 2000. *Seguimiento de la variación temporal de la permeabilidad de un acuífero mediante testificación geofísica*. Boletín Geológico y Minero Vol. 111, pp 3-20.

Toraño J., Rodríguez R., Ramírez-Oyanguren P., 2000. *Probabilistic analysis of subsidence-induced strains at surface above steep seam mining*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Vol.37-7, pp 1161-1167.

## **CORRESPONDENCIA**

Javier Toraño Álvarez

Dpto. Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo

E.T.S. Ingenieros de Minas. C/ Independencia 13, 33004 Oviedo

Tfno: 985 10 42 54 Fax: 985 10 42 45 e-mail: jta@correo.uniovi.es