
RETIRADA DE LODOS PROCEDENTES DEL ACCIDENTE DE LA Balsa MINERA DE AZNALCÓLLAR EN CAPTACIONES DE AGUA

PINDADO GÓMEZ, César

URS (anteriormente Dames & Moore), General Ramírez de Madrid 8, 6º, Madrid (España)

Tel.: +34 91 425 25 50. E-mail: cesar_pindado@urscorp.com

RESUMEN

Como resultado del accidente en la balsa de residuos mineros de las minas de Aznalcóllar propiedad de Boliden Apirsa S.L. ocurrido el 25 de abril de 1998, algunos pozos y captaciones de agua a lo largo del cauce fluvial del río Guadiamar fueron afectados o cubiertos por lodos mineros.

Tras trabajar en el asesoramiento y seguimiento de las labores de retirada de lodos de pozos afectados por el accidente de la balsa de residuos mineros en 1998, URS-Dames & Moore procedió a ofrecer asistencia técnica para la retirada de lodos de 3 pozos, 1 pozo-sondeo y 2 captaciones de agua en los términos municipales de Huévar, Benacazón y Aznalcázar (Sevilla). La metodología utilizada en ambos casos fue desarrollada por URS-Dames & Moore y aprobada por Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Las labores de limpieza desarrolladas permitieron volver a utilizar las captaciones para su uso inicial de regadío.

PALABRAS CLAVE: pozo, afección, lodos, limpieza.

OBJETIVOS

Retirada de lodos en varios pozos de regadío afectados por el accidente de la mina de Aznalcóllar con el objetivo de que Confederación Hidrográfica del Guadalquivir restablezca el permiso para su explotación.

SITUACIÓN INICIAL

Las captaciones situadas en la margen derecha del río Guadiamar en los términos municipales de Huévar y Benacazón riegan una superficie total de 122 ha. Se han retirado lodos mineros de 3 pozos, dos tomas de agua del río Guadiamar y un pozo-sondeo. El estado inicial de las captaciones era el siguiente (ver Tabla 1):

- Pozo 1 (P1), aterrado, seco y cubierto por lodos.
- Pozo 2 (P2), parcialmente afectado por lodos a través de llagas y mechinales.
- Pozo 3 (P3), afectado por lodos a través de llagas y mechinales.

CARACTERÍSTICAS	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
Construcción	Anillos de Hormigón	Anillos de Hormigón	Anillos de Hormigón
Brocal (m)	1,30	1,20	1,30
Diámetro (mm)	1500	1500	1500
Profundidad antes de limpieza (m)	2	5	6
Profundidad después de limpieza (m)	5,7	9,9	10
Nivel piezométrico inicial desde terreno (m)	seco	1,7	2

Tabla 1. Características de los pozos afectados en Huevar y Benacazón

Los pozos 2 y 3 fueron invadidos por lodos mineros a través de las llagas y mechinales. La diferencia entre la profundidad original y la actual de los tres pozos se debe al aporte de material de granulometría fina que han dado como resultado las pruebas de explotación y que han producido una colmatación del pozo. Podría estimarse inicialmente que la colmatación debida a lodos mineros no habría superado en ninguno de los tres pozos 1 m de espesor.

Las analíticas iniciales de los tres pozos en los que se han retirado lodos (ver *anexo A*) ofrecieron el siguiente diagnóstico previo:

- Pozo 1 (P1): Aunque a priori es el pozo que podría haber sido más afectado, la primera analítica tras la retirada de lodos indica una relativa baja afección dado el muy bajo o nulo volumen de agua existente en el pozo antes del accidente.
- Pozo 2 (P2): La analítica inicial demuestra una alta afección por lodos. Son especialmente altas las concentraciones de Zn y Mn disueltas en el agua.
- Pozo 3 (P3): Al igual que en el pozo 2, se detectó una muy alta concentración de Zn y Mn disueltos en agua. La afección por los lodos mineros ha sido alta.

Por otro lado, las dos tomas que se limpiaron consistían, cada una de ellas, en un dren horizontal hasta el río en tubería de hierro de 700 mm de diámetro conectado con un pozo entubado en anillos de hormigón de diámetros 2000 mm (toma A) y 1500 mm (toma B). Ambas fueron construidas en 1996 y están situadas en Aznalcázar.

El pozo-sondeo 4 está ubicado también en Aznalcázar, a más de 100 m del río. Los lodos sobrepasaron el tubo de PVC de 400 mm de diámetro y el brocal del pozo de 1500.

CARACTERÍSTICAS	TOMA A	TOMA B	Pozo-sondeo 4
Construcción	Anillos de Hormigón	Anillos de Hormigón	Anillos de hormigón-engravillado-PVC
Brocal original (m)	0,9	0,3	1
Diámetro (mm)	2000	1500	400 PVC, 1.500 Pozo
Profundidad dren (m)	10	6	-
Longitud dren (m)	8	9	-
Profundidad antes de limpieza en (m)	8,5	14	18,2
Profundidad después de limpieza en (m)	9,85	14,9	19,1
Nivel piezométrico inicial desde terreno (m)	4,5	4,4	7,7

Tabla 2. Características de los pozos afectados

La diferencia de cota entre la profundidad original y la anterior a la limpieza, no sólo se debe a la avenida de lodos mineros sino también al aterramiento del propio pozo.

Las analíticas iniciales (ver *anexo A*) ofrecieron el siguiente diagnóstico previo:

- **TOMA A:** El nivel de Zn en el agua indica que la cuantía de lodos que pasaron a través del dren horizontal desde el río no fue cuantiosa. Estos no sobrepasaron el brocal.
- **TOMA B:** Al igual que en la toma anterior y atendiendo a la concentración en Zn, la cuantía de lodos que pasaron desde el río, a través del dren horizontal y hacia el interior del pozo, se estimó en poco cuantiosa. Se supuso una baja afección. Los lodos no sobrepasaron el brocal.
- **POZO-SONDEO 4:** En vista de las concentraciones de Zn y Mn, parece haber sido afectado ligeramente por los lodos que sobrepasaron el brocal.

PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA RETIRADA DE LODOS DEL INTERIOR DE CAPTACIONES DE AGUA

El procedimiento general seguido para la retirada de lodos del interior de las captaciones de agua se ha ajustado al modelo propuesto por URS-Dames & Moore y aprobado por la Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en su

Procedimiento y Metodología para la limpieza de pozos inundados por lodos de la mina de Aznalcóllar.

El procedimiento fue desarrollado por URS-Dames & Moore durante los trabajos de retirada de lodos en captaciones afectadas por el vertido de la balsa de las minas de Aznalcóllar. Inicialmente, el proceso consistió en neutralizar las aguas del pozo y precipitar los metales en el mismo con lechada de cal y floculantes, tras haber procedido a la retirada de sólidos y lodos del interior de la captación. El agua y los sólidos eran posteriormente extraídos hacia varias balsas de decantación, donde precipitaban metales y sólidos antes del vertido en el terreno aguas abajo de la captación. Posteriormente, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, modificó algunos puntos de la metodología, principalmente los que se refieren al vertido de las aguas; antes de vaciar las balsas de decantación, se debía tomar una muestra de las mismas y solicitar permiso para el vertido.

En líneas generales, el procedimiento utilizado ha seguido las siguientes líneas:

1. *Evaluación del estado físico del pozo: instalaciones de bombeo, estado de brocal, llagas y mechinales, posibles puntos de entrada de los lodos y posible nivel alcanzado por estos en la captación.*
2. *Medida de los parámetros físicos del pozo: diámetro, altura del brocal, nivel freático y profundidad total anterior a la retirada de lodos.*
3. *Toma de la muestra inicial del pozo antes de proceder a la limpieza del mismo. Se procedió a tomar medidas de pH, electroconductividad y temperatura de la muestra in situ; valores que fueron determinados otra vez en laboratorio acreditado.*
4. *Limpieza de los arrastres acumulados por la avenida de lodos para facilitar la accesibilidad y preparación del pozo para la tarea de retirada de lodos. Desmantelación de las instalaciones de bombeo.*
5. *Determinación de la situación inicial y diagnóstico previo de la captación.*
6. *Apertura de una cadena de balsas para la decantación del agua bombeada de los pozos aguas abajo y pendiente abajo de la captación.* El número de balsas abiertas ha sido de dos conectadas entre sí en todos los casos, excepto en el pozo-sondeo 4, en el que sólo se ha abierto una dado el pequeño diámetro de la captación y por tanto el pequeño volumen a bombear. Cada una de las balsas tenía unas dimensiones aproximadas de 6 x 3 m y 1,5 m de profundidad siendo impermeabilizadas en su totalidad con plástico.
7. *Supresión de lodos del interior de las captaciones.* En las que se podía esperar mayor espesor de lodos, antes de proceder a la neutralización de las aguas, se procedió a suprimir, tanto los lodos como parte de los aterramientos anteriores que hubieran podido ser afectados por estos. Se utilizó una máquina para realizar pozos con cabeza de perforación cilíndrica y de un diámetro lo más cercano posible al diámetro de la captación. Con éste método, se eliminaron lodos y parte del aterramiento potencialmente afectado. Posteriormente, se tomaron muestras de agua de las captaciones así tratadas, una vez recuperado el nivel freático y antes de proceder al proceso de precipitación de metales.

8. *Neutralización de las aguas del pozo.* Aunque los valores de pH iniciales no son ácidos (incluso ligeramente básicos en algunas captaciones), se procedió a añadir lechada de Ca(OH)_2 al 20% y floculantes, a la vez que se introdujo una bomba a media profundidad y se hizo un circuito cerrado para homogeneizar. Se midió el pH del agua del pozo constantemente hasta alcanzar valores en torno a 12, permitiendo posteriormente la precipitación por un tiempo de 24 h.
9. *Extracción del agua de la captación.* Se procedió al bombeo desde el fondo del pozo con una bomba de fango y con salida a la primera de las balsas de decantación. De este modo se consiguió retirar lodos con los metales ya precipitados en superficie y parte de los sedimentos procedentes de los aterramientos anteriores (ver anexo fotográfico).
10. *Limpieza de las paredes del pozo* con chorro de agua a presión a la vez que se produce el bombeo a las balsas de decantación.
11. *Prolongación del bombeo hasta la depresión total del nivel freático en el interior de la captación.* Se controlan constantemente los valores de pH del agua de entrada a las balsas y del agua de la segunda balsa con el fin de mantener el pH de las mismas en un valor elevado.
12. *Comprobación del pH del pozo al final del llenado de las balsas y tras su recuperación.* En todos los casos fue mayor a 6 como requería el protocolo.
13. *Toma de muestras tanto de las balsas como del agua del pozo un día después del proceso de bombeo para su análisis en laboratorio certificado.*
14. *Presentación en las oficinas de Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en Sevilla de los resultados analíticos del agua de las balsas con el fin de obtener permiso para su vertido.* En caso de que los resultados analíticos arrojaran valores que pudieran estimarse excesivos en comparación con los de otros puntos de observación del acuífero aluvial en su entorno, se procedería a repetir el proceso de neutralización y bombeo.
15. Si la calidad de las aguas del pozo se aprueba por Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, se procede a la *desección del agua de las balsas, desmantelación de éstas y posterior recogida de residuos (incluyendo lodos y aterramientos)*. Estos son posteriormente vertidos en la antigua corta de Aznalcóllar.

PARÁMETROS Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Los parámetros analíticos que se analizaron en las muestras de agua fueron los siguientes:

- Físicos: pH y conductividad
- Químicos: Metales (As, Cd, Cr, Ni, Hg, Pb, Cu, Zn, Fe y Mn)

Los métodos analíticos usados fueron los siguientes:

- Determinación de Cd, Ni, Cr, Cu y Pb por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Cámara de Grafito.

- Determinación de As y Hg por Espectrofotometría de Absorción Atómica con generador de hidruros.
- Determinación de Mn, Fe y Zn por Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama.

RESULTADOS

Los resultados analíticos obtenidos muestran la calidad del agua de los pozos y las balsas en el tiempo; aunque también se siguió la calidad de éstas antes de proceder a su vertido, no se presentan aquí los resultados.

Antes de proceder a la retirada de lodos, ya se conocía la evolución de la calidad de las aguas de las captaciones objeto del presente trabajo, puesto que se llevó a cabo un seguimiento de ésta durante los meses anteriores a la realización de los trabajos. El *anexo A* presenta la evolución de la concentración de metales en el agua de los pozos limpiados. Con motivos meramente comparativos, los resultados se presentan con la analítica de una muestra puntual de agua del río Guadiamar en las proximidades de las captaciones *Toma A* y *Toma B* en la fecha de la realización de los trabajos.

Se puede observar un descenso generalizado de la concentración de metales en el agua de los pozos tratados. La precipitación de metales disueltos se produce utilizando hidróxido de calcio, floculantes y elevando el valor del pH entre 10 y 12.

CONCLUSIONES

La técnica de retirada de lodos que fue desarrollada por URS-Dames & Moore y que se puso en práctica en las seis captaciones de riego se mostró efectiva y económica. Los resultados obtenidos fueron admitidos por Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, que dio permiso para continuar con la explotación de las captaciones para su uso de regadío.

BIBLIOGRAFÍA

- “Procedimiento y Metodología para la limpieza de pozos inundados por lodos de la mina de Aznalcóllar”, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Comisaría de Aguas (Agosto de 1999).
“Normas de tipo general para la limpieza de pozos afectados por los lodos en el Guadiamar”

ANEXO A: Evolución de la calidad del agua de los pozos limpiados

POZO	FECHA	PH	Ec (25°C) µS/cm	As	Cd	Cr	Ni	Hg	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn
	MUESTREO												
P1 INICIAL	03/01/00	7.1	2040							0.050	0.04		
P1 FINAL	11/01/00	7.6	1991	0.002	-	-	0.006	-	-	-	0.04	-	0.52
P2	28/12/98	7.2							0.140	0.000	150.00	0.280	80.99
P2	23/03/99	6.9	3440	-	0.145	-	0.552	-	-	0.017	146.60	0.194	55.30
P2 INICIAL	04/01/00	7.5	2850								2.30		
P2 FINAL	11/01/00	7.5	2050	0.003	-	-	0.015	-	-	-	0.50	-	2.01
P3	28/12/98	7.0							0.140	0.000	136.00	0.170	64.46
P3	23/03/99	7.1	3502	-	0.173	-	0.510	-	-	-	95.50	-	56.80
P3 INICIAL	03/01/00	6.7	2940							0.050	0.41		
P3 FINAL1	07/01/00	7.4	2390	-	-	-	0.022	-	-	-	0.15	-	0.89
P3 FINAL2	11/01/00	7.3	2410	0.003	-	-	0.012	-	-	0.008	0.32	-	1.06
P4	11/12/98	7.0									0.81	0.090	1.29
P4	23/03/99	7.3	2200	-	-	-	0.007	-	-	-	0.04	-	0.08
P4	25/08/99	7.4	2132	-	-	-	0.010	-	-	-	0.10	-	-
P4 INICIAL	07/01/00	7.9	2120	-	-	-	0.007	-	-	0.006	0.21	-	0.22
P4 FINAL	11/01/00	7.6	2040	-	-	-	0.006	-	-	-	0.08	-	0.31
TOMA A	11/12/98	7.4							0.000	0.000	0.34	0.090	0.02
TOMA A	23/03/99	7.3	1595	0.007	0.004	-	0.008	-	-	-	0.71	0.133	0.30
TOMA A INICIAL	07/01/00	8.2	1806	-	-	-	0.018	-	-	0.009	0.18	-	1.25
TOMA A FINAL	11/01/00	9.0	1304	0.006	-	-	0.005	-	-	0.005	-	-	-
TOMA B	11/12/98	7.8							0.000	0.000	0.06	0.220	0.93
TOMA B	23/03/99	7.5	1023	0.018	-	-	0.008	-	-	0.006	0.19	0.189	0.87
TOMA B INICIAL	07/01/00	8.2	1741	0.006	-	-	0.023	-	-	0.012	0.21	0.290	1.63
TOMA B FINAL	11/01/00	9.5	1335	0.003	-	-	0.008	-	-	-	0.03	-	0.21
RD GUADAMAR	10/01/00	7.8	1480	0.006	-	-	0.012	-	-	-	0.24	0.219	1.47
LÍMITES DE DETECCIÓN				<0.002	<0.001	<0.005		<0.001	<0.01	<0.005	<0.025	<0.1	<0.05

Notas:

	Elemento no analizado
-	Elemento detectado por debajo del límite de detección del laboratorio