

EL DESAGÜE MINERO DE SIERRA ALMAGRERA: 100 AÑOS DE LUCHA CONTRA EL AGUA

ANDRES NAVARRO

Universidad Politécnica de Cataluña

Resumen

Se ha estudiado la evolución y características del desagüe minero de Sierra Almagrera (Cuevas del Almanzora), haciendo especial incidencia en las instalaciones construidas por Brandt y Brandau, a finales del siglo XIX. También se han analizado las características de las aguas termales que alimentaban el desagüe, así como su posible origen. El funcionamiento del sistema hidrogeológico de Sierra Almagrera, se podría explicar por la infiltración dominante de agua marina hacia un hipotético foco térmico, y un ascenso de las aguas termales por la red de fracturación de las rocas metamórficas.

En la última época de explotación subterránea de las minas (1945-1958) el desagüe permitía el bombeo de 16.000-17.000 m³/día de agua, llegándose a extraer 9 millones de m³ y alcanzándose bajo el Arteal un nivel de las aguas situado a 200,96 m bajo el nivel del mar, siendo éste el máximo nivel alcanzado.

Palabras clave: Desagüe, Sierra Almagrera, aguas subterráneas, filones, bombeo.



Fig. 1. Desagüe de las minas de F-Pb-Zn de Osor (Gerona) mediante una galería de varios kms de longitud

I. INTRODUCCIÓN. EL AGUA EN LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

Los problemas causados por la inundación de las labores mineras subterráneas han sido estudiados desde tiempos remotos a causa de su incidencia en la vida de las explotaciones. Así, Agricola (1556) indicaba que la excesiva entrada de agua en las minas era uno de los motivos más importantes para el abandono de los pozos y minas (Fig. 1). Por ello y desde la Edad Antigua se implementaron en numerosas explotaciones diversos sistemas de bombeo que empleaban dispositivos parecidos a las norias (Fig. 2) y otros más simples (tornillos de Arquímedes, sistemas manuales, etc.), que permitieron el drenaje de pozos a profundidades que superaban los 200 m.

De ahí que, numerosas minas explotadas a profundidades elevadas hallan precisado para su funcionamiento, de la existencia de algún sistema de bombeo (pozos y sondeos) o de drenaje por gravedad (galerías y socavones) que permitiese el acceso "seco" a las labores de extracción de los minerales. En ese sentido, cuando los caudales a extraer son muy importantes y la profundidad de elevación de los equipos de bombeo es alta, el coste económico suele ser muy elevado y hacer inviable la explotación económica del yacimiento. Éste es el caso de las antiguas minas de Sierra Almagrera (Cuevas del Almanzora), en las cuales la lucha por mantener secas las labores y el continuo descenso de los precios del plomo y de la plata desde finales del siglo XIX, llevó a la paralización de las labores subterráneas en 1957,

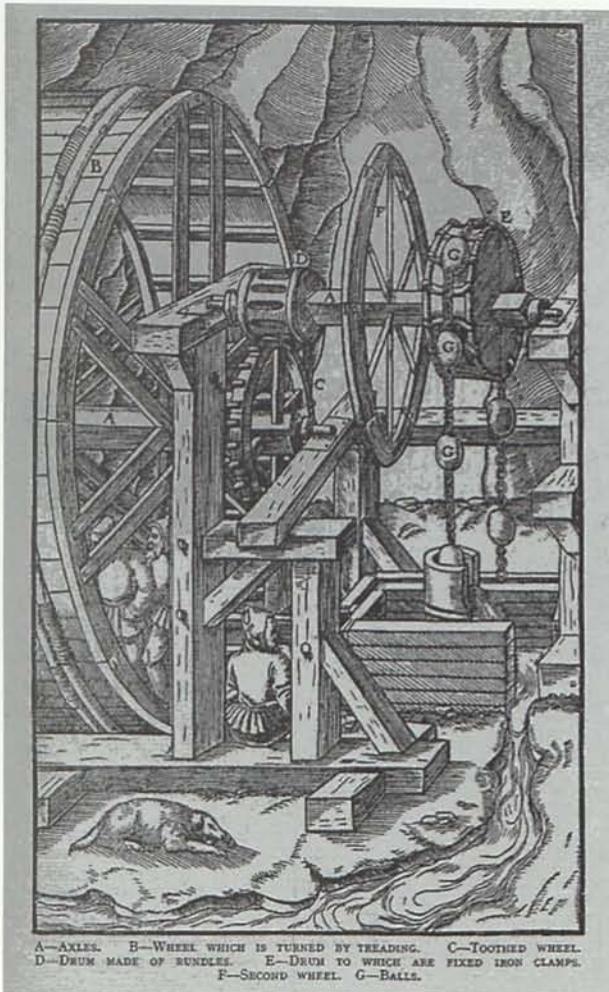


Fig. 2. Antiguos artefactos empleados en el desagüe de minas. Fuente: Agricola (1556)

después de un amplio periodo en el que se pusieron en marcha distintos sistemas de desagüe. Entre ellos, es preciso destacar el sistema de pozos y galerías implantado por Brant y Brandau en 1903, el cual constituyó un avance tecnológico en su época, y de hecho, con algunas modificaciones ulteriores, funcionó desde 1948 hasta 1958, a cargo de la empresa pública *Minas de Almagrera, S.A.* (MASA), en el último periodo de explotación subterránea de los filones (Fig. 3).

En el caso de las minas de Sierra Almagrera, al hecho de tener que bombear continuamente caudales por encima de los 3.000 m³/día y de forma continua para proseguir la explotación, se le añadía la particular naturaleza de las aguas bombeadas, de carácter geotermal, y con temperaturas próximas a los 60° C, en las zonas más profundas.

El bombeo de grandes volúmenes de agua subterránea mediante pozos de extracción y desde niveles profundos, requiere un alto consumo de energía y un constante mantenimiento de los equipos, creándo-

se por la acción de los equipos de bombeo un cono de depresión en el acuífero, que lentamente deprime los niveles piezométricos. No obstante, al cesar el bombeo por cualquier razón, los niveles tienden otra vez a recuperarse, debiéndose desaguar toda el agua acumulada cuando se quiere continuar con la actividad minera. La estructura geológica de Sierra Almagrera, que únicamente permitía la explotación subterránea de sus yacimientos minerales, y la existencia de un medio rocoso relativamente permeable a través de la red de fracturas existente y alimentado por aguas frías y también geotérmicas, explica la titánica lucha llevada a cabo por los mineros. Así, los distintos trabajos de desagüe desde 1847 hasta 1958, permitieron la existencia de una actividad extractiva que llegó a alcanzar relevancia a escala mundial, en algunos periodos, y que transformó de forma notable el entorno económico local y regional.

II. APROXIMACIÓN HISTÓRICA

La actividad minera en el sector de Sierra Almagrera se ha centrado en la explotación de mineralizaciones hidrotermales de carácter filoniano en Sierra Almagrera, y estratoligadas en las vecinas

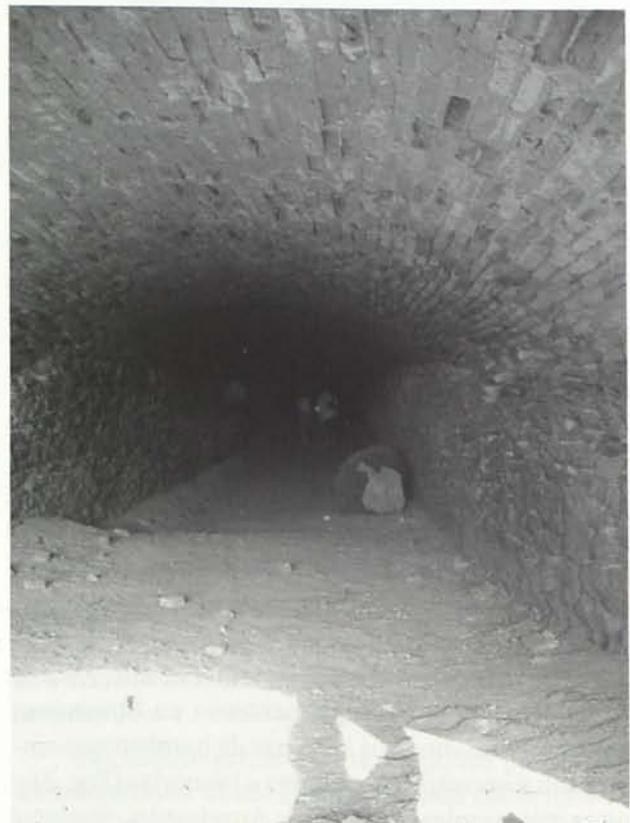


Fig. 3. Antigua galería de transporte (socavón Santa Bárbara) construido por *Minas de Almagrera S.A.* (MASA)

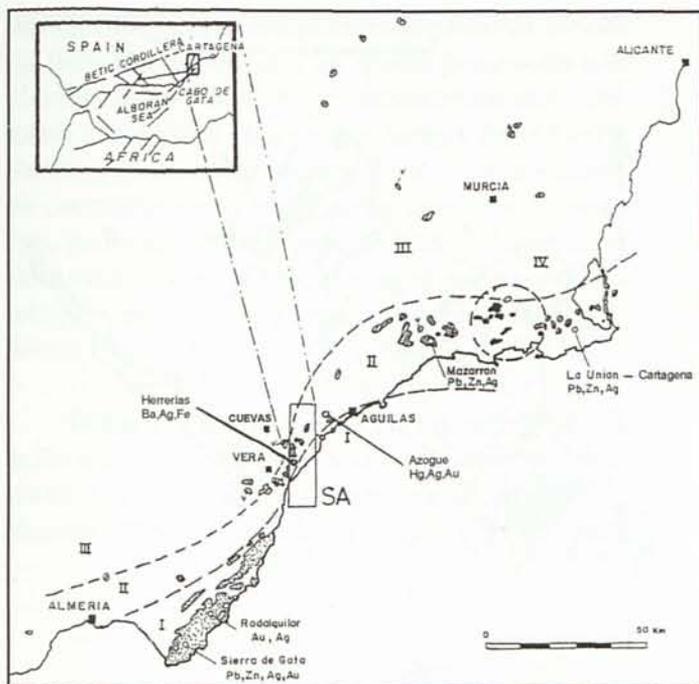


Fig. 4. Situación de los principales yacimientos minerales del arco metalogénico Cartagena-Cabo de Gata

minas de Herrerías. Se trata de un conjunto de mineralizaciones pertenecientes al arco metalogénico Cartagena-Cabo de Gata (Fig. 4), y de carácter epitermal, en su mayoría. Dicha explotación ha sido muy dilatada a lo largo de la historia, encontrándose entre las más antiguas de la Península Ibérica (Siret, 1907; Cuadrado, 1947; Navarro et al., 1994a).

En Sierra Almagrera se explotaron filones de dirección NW-SE y N-S, aproximadamente (Martínez et al., 1989; Martínez, 1991; Navarro et al., 1994a; 1998; 2004) constituidos, fundamentalmente, por galena argentífera, sulfosales de Pb-Sb-Ag, pirita, calcopirita, marcasita, esfalerita, siderita y baritina. También se beneficiaron de forma puntual y sin ninguna relevancia económica, a finales del siglo XIX y principios del XX, mineralizaciones de Au-Ag, ubicadas en la zona costera de la Sierra (Calderón, 1910; Navarro et al., 1994a; Navarro et al., 1997). Por otro lado, en las Herrerías la explotación en el siglo XIX y el primer tercio del siglo XX, se centró en los óxidos de Fe y Mn, así como en la plata nativa (Navarro y Cardellach, 2009), aunque probablemente se trataba de konsbergita, querargirita y acantita. En épocas recientes se reinició la actividad minera en el coto de Herrerías (1992-2006), explotándose a cielo abierto las capas de baritina que existen en ese yacimiento hidrotermal y que antiguamente constituían la ganga del yacimiento (Fig. 5).

Así y en relación con la actividad minera romana y, posiblemente anterior, se encontraron numero-

sas huellas en Sierra Almagrera, al reiniciarse su explotación en el siglo XIX. En ese sentido, destaca el hallazgo de una galería romana horizontal cerca de la rambla del Arteal, que llegaba al llamado pozo de las Simas, así como vestigios de edificios, candiles y diversos depósitos de escorias mineras (Falces, 1883). En esta época la plata y el plomo se separaban por copelación, de forma similar a como se realizó durante buena parte del siglo XIX, generándose grandes volúmenes de escorias, en buena parte reaprovechados durante el siglo XIX, y que en Herrerías llegaron a suponer del orden de 276.000 t (Ezquerro del Bayo, 1844).

Durante la época de dominación musulmana parece que la actividad minera se redujo a la mínima expresión, aunque se han encontrado algunos restos de esa época en la zona de Herrerías (Siret, 1907). De hecho, la actividad extractiva no vuelve realmente a retomarse hasta 1838, cuando se descubre, de forma más o menos fortuita, el llamado filón del Jaroso, descubrimiento cuyas vicisitudes han sido ampliamente descritas (Falces, 1883). Dicho filón, explotado inicialmente por las llamadas minas ricas (Carmen, Observación, Esperanza) llega a producir en el periodo 1839-1843 unas 57.500 t de galena argentífera (Tabla 1), a partir de una estructura bandeada que alcanzaba hasta 12 m de potencia en algunos puntos. Tan elevada producción de un mineral que llegaba a contener varios kg de plata por t, produjo un fenómeno singular de febril actividad minera, al que se asoció un proceso "especulativo" de alcance internacional (Ferré, 1979; Sánchez Picón, 1983; 1992). Como resultado de toda esta actividad llegaron a abrirse hasta 1.700 pozos mineros y a re-



Fig. 5. Vista de la actual corta de la mina de barita de Las Herrerías (Cuevas del Almanzora)

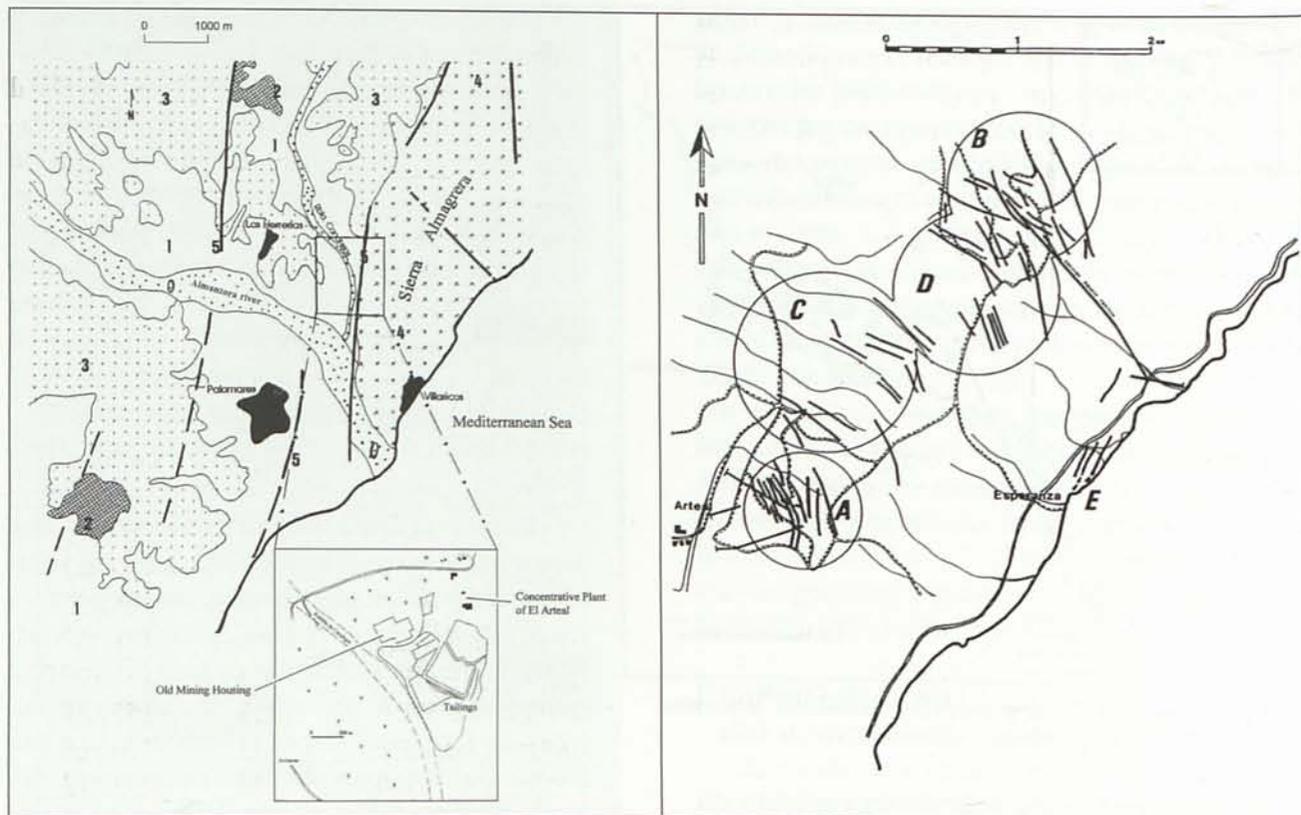


Fig 6. Mapa geológico sintético de Sierra Almagrera y situación de los principales campos filonianos.

Fig. 6a. (0): Depósitos aluviales cuaternarios.
 (1): Depósitos cuaternarios. (2): Rocas volcánicas neógenas. (3): Depósitos sedimentarios neógenos.
 (4): Rocas metamórficas de los complejos Nevado-Filábride y Alpujárride.

Fig. 6b. (5): Principales fracturas.
 A: Filones del Arteal-Ramo de Flores. B: Barranco del Jaroso. C: Barranco Francés. D: Minas de Fe-Ba.
 E: Indicios de Au-Ag de Cala Cristal.

gistrarse más de 200 sociedades, muchas de las cuales nunca llegaron a extraer ningún mineral. Un hecho significativo que refleja la potencia del fenómeno minero de Sierra Almagrera, es que a mediados del siglo XIX, algunas de las acciones más cotizadas de la Bolsa de Madrid correspondían a la Sociedad Carmen y Consortes.

La explotación minera en Sierra Almagrera, durante el siglo XIX, presenta dos épocas claramente contrapuestas, y marcadas por la aparición del agua subterránea en los pozos más profundos del barranco del Jaroso en 1844, y que obligó al desagüe de las labores para poder mantener la actividad extractiva. Así, y hasta la década de 1880, los distintos sistemas de desagüe, los nuevos descubrimientos (fundamentalmente en el Barranco Francés) y la introducción de maquinaria moderna de extracción (Fig. 6), consiguen que la producción minera se mantenga, más o menos, estable, llegándose a cifras notables en relación con la producción nacional (Tabla 1). No obstante, a partir de 1886 el problema del desagüe y la existencia de un "minifundio" minero generalizado, que impide racionalizar los costes de producción, provo-

can una serie de crisis, acentuadas por la progresiva bajada del precio del plomo y de la plata, que acompañarán a la minería de Sierra Almagrera hasta 1936.

Los principales hitos relacionados con el desagüe minero aparecen resumidos en la Tabla 2, destacando entre otros sucesos la puesta en marcha del sistema de bombeo de Brandt y Brandau en 1903 (Fig. 7), que posibilitaría el descenso de los niveles piezométricos a cotas próximas a los 150 m bajo el nivel del mar. Sin embargo, numerosas explotaciones se paralizaron antes de alcanzar dicha profundidad, y por tanto dejaron amplias zonas vírgenes por explotar. De hecho, la actividad extractiva queda casi totalmente paralizada en 1912, y aunque una subida de los precios del plomo en 1920 y 1926 llevó a una cierta reactivación de la Sierra, existiendo 15 minas activas con 190 obreros empleados en 1924 (Ferré, 1979), mientras que al empezar la Guerra Civil apenas se explotaban media docena de minas.

En relación con los problemas de contaminación que ha generado la intensa actividad minera desarrollada en Sierra Almagrera, se puede afirmar, que su origen está asociado, mayoritariamente, a los resi-

duos procedentes de la concentración (fangos o lodos de flotación) producidos en épocas posteriores a la Guerra Civil y a los restos de escombreras muy alteradas que existen en distintos lugares de la Sierra. También, pero en menor medida, existen problemas de contaminación a causa de los depósitos de escorias, generados durante el siglo XIX, y depositados de forma incontrolada en las proximidades de las antiguas fundiciones y junto al borde costero de la Sierra (Navarro et al., 2004; 2008).

Tabla 1. Producción de Pb (metal) en el distrito minero de Sierra Almagrera, en el periodo 1841-1912. Basado en Navarro et al. (1998); Sanchez Picón (1983); y Pérez de Perceval (1989).

Año	Producción Pb (1)	Nº Fundiciones (2)	Producción total en España (t)
1841	11.809*	4	---
1842	12.903*	9	---
1843	18.630*	9	---
1844	33.396*	12	20.482
1845	20.152*	10	25.169
1846	18.400*	7	---
1847	20.240*	9	---
1848	14.950*	4 (**)	28.939
1849	---	---	---
1850	1.627,5	7	---
1851	1.810,0	---	---
1852	---	---	---
1853	2.431,7	6	48.760
1854	---	---	46.384
1855	3.502,9	---	---
1856	1.747,0	---	58.179
1857	---	---	54.358
1858	---	---	55.200
1859	---	---	---
1860	---	---	---
1861	1.435,7	20	62.401
1862	2.265,0	21	61.768
1863	2.914,0	26	72.360
1864	2.281,0	26	65.421
1865	2.469,0	18	61.959
1866	1.785,0	---	67.876
1867	4.161,0	24	71.564
1868	4.380,0	24	72.800
1869	8.020,0	23	83.698
1870	9.510,0	23	85.051
1871	8.123,0	23	91.994
1872	12.078,0	23	101.522
1873	11.223,0	26	99.682
1874	16.805,0	27	106.259

Año	Producción Pb (1)	Nº Fundiciones (2)	Producción total en España (t)
1875	17.963,3	28	119.652
1876	19.924,3	28	127.495
1877	20.941,0	24	80.281
1878	17.267,0	24	86.089
1879	17.807,0	26	90.117
1880	17.130,0	21	79.807
1881	18.841,0	21	90.672
1882	20.223,0	20	88.339
1883	27.056,0	21	99.312
1884	21.571,0	21	83.304
1885	20.054,2	16	88.615
1886	17.723,0	15	105.942
1887	20.965,0	20	145.455
1888	11.515,0	20	131.458
1889	12.116,0	13	191.196
1890	9.790,0	13	155.645
1891	10.328,0	13	166.168
1892	11.856,0	12	151.713
1893	9.840,0	12	----
1894	8.385,0	13	152.620
1895	9.487,0	11	160.786
1896	11.082,0	8	167.017
1897	13.670,0	9	166.370
1898	9.459,0	9	167.351
1899	4.465,0	8	162.613
1900	5.450,0	7	172.530
1901	5.546,0	7	169.294
1902	5.107,0	7	177.560
1903	4.208,0	7	175.109
1904	3.818,0	9	185.862
1905	3.272,0	8	185.693
1906	4.059,0	5	185.468
1907	3.576,0	4	186.496
1908	4.290,0	3	188.061
1909	2.671,0	3	179.993
1910	3.396,0	2	190.523
1911	992,0	3	189.919
1912	1.493,0	2	232.612

(1): Producción de Pb en t (incluye la producción de Bédar desde 1877). (*) refleja la extracción de mineral únicamente. (2): Nº Total de fundiciones activas en la provincia de Almería. (**): sólo Almagrera. ---- : sin datos

Así, los fangos de flotación existentes en la zona de El Arteal y estimados en varios millones de t, se han originado como resultado de las labores mineras más recientes desarrolladas en Sierra Almagrera.

Sobre el terreno aparecen dispuestos en forma de grandes terrazas escalonadas, desprovistas de vegetación y continuamente sometidas a la acción del viento y de la escorrentía superficial. El origen de los primeros depósitos de fangos de flotación está en la creación de la empresa pública *Minas de Almagrera S.A. (MASA)* en 1945, y que retomó la explotación de las minas tras la Guerra Civil, emprendiendo una serie de importantes labores entre las que destacó la construcción de una galería general de transporte (socavón Santa Bárbara) (Fig. 3), finalizada en 1951

(INI, 1952). Durante este periodo se construyó un lavadero de flotación con una capacidad media de 800 tm/día, previéndose una producción anual (nunca cumplida) de 12.000 tm de concentrados. Aunque se desconoce con exactitud la producción real de concentrados en este periodo, los datos disponibles (Tabla 3) indican una baja productividad, y explican el cese de la explotación subterránea de las minas en 1958, trasladando la empresa MASA a buena parte del personal a sus explotaciones en la zona de Berja en la Sierra de Gádor.

Tabla 2. Principales hitos en el desagüe de Sierra Almagrera

Periodo	Sucesos destacables relacionados con el Desagüe
1844	Aparición de problema en profundidad (150-200 m)
1847	Aparición del agua en las minas (cota 160 m, aproximadamente)
1849	Inicio del socavón Riqueza Positiva ¹
1851	Instalación de una máquina de vapor (100 CV) en la mina Constancia
1852	Parada de la máquina de vapor (9 de julio)
1856-1857	2º Periodo de funcionamiento de la máquina Constancia
1858-1866	Desagüe de <i>Orozco y Cía.</i> (140 CV)
1866-1872	Trabajos de <i>La Unión Desagüadora</i> . Finalización del socavón Riqueza Positiva (1868)
1872-1875	Arriendo del Desagüe a capitalistas franceses
1875-1877	Trabajos de la empresa <i>Sociétés Anonyme de Plombs Argentifères Almagro y Almagrera</i> (máquina de 300 CV)
1877-1879	Trabajos de la empresa <i>Compagnie Minière de la Province d'Almería</i>
1879-1881	Parada del Desagüe.
1881-1886	Asume el desagüe la empresa <i>Compagnie d'Aguilas</i> (posteriormente <i>Peñarroya</i>). Nuevo pozo de desagüe en el Barranco Francés (mina <i>Crescencia</i> , 1884)
1886-1894	Parada del desagüe. Creación del Sindicato Minero de Sierra Almagrera (1889)
1894-1903	Construcción y explotación del sistema de desagüe de Brandt y Brandau (pozos Encarnación y Jaulas en El Arteal). Las calderas de los pozos se situaban a 139 y 130 m de profundidad, respectivamente
1903-1912	Traspaso del desagüe a la casa Figueroa (<i>Compañía Minera e Industrial de España</i>). Inicio del desagüe en 1906. Profundización de los pozos Encarnación y Jaulas hasta los 227 y 220 m bajo el nivel del mar, respectivamente. Descenso del nivel piezométrico en el Jaroso hasta la cota 146.15 m bajo el nivel del mar (1908)
1912	Paralización del desagüe
1913-1914	Contrato de desagüe a la <i>Sociedad Española de Industrias Mineras</i>
1916-1920	Constitución del Desagüe de Sierra Almagrera
1920-1924	Paralización del desagüe
1924-1932	Traspaso del desagüe a la <i>Sociedad Minera de Almagrera y Consorcio de Almagrera</i>
1932-1936	Desagüe a cargo de <i>Empresas Eléctricas e Industriales, S.A.</i> Bombeo gracias a la central eléctrica de Villaricos. Descenso del nivel piezométrico en El Arteal-Barranco Francés, hasta la cota 158.8 m bajo el nivel del mar (1935)
1945	Constitución de <i>Minas de Almagrera, S.A. (MASA)</i> .
1949-1958	Reconstitución del Sindicato de Mineros (1948) y reanudación del desagüe. Descenso del nivel piezométrico en El Arteal, hasta la cota 200 m bajo el nivel del mar (1955)
1958	Paralización definitiva del desagüe
2009	Nivel piezométrico próximo a la cota del nivel del mar

¹ Galería de desagüe que acabó conectando el drenaje del Jaroso con la cala del Peñón Cortado.

Tabla 3. Producción aproximada del distrito de Sierra Almagrera durante el siglo XX

Periodo	Producción de mineral (t)	Producción de concentrados (t)
1920-1936	24.000 *	SD
1952-1957	791.000 **	12.456
1969-1991	3.100.000 ***	55.000

(*): Extracción de mineral por empresas privadas antes de la Guerra Civil. (**): Extracción de mineral y procesamiento de escombreras por M.A.S.A. (*Minas de Almagrera, S.A.*). (***): Procesamiento de escombreras por *Española del Zinc* y otros. SD: sin datos.

Los residuos de fundición que se observan en los alrededores de los antiguos establecimientos, proceden mayoritariamente de la gran actividad desarrollada durante el siglo XIX, y principios del siglo XX en 17 fábricas, que unidas a las existentes en las proximidades de Águilas, beneficiaron durante muchos años las menas extraídas de Sierra Almagrera y Las Herrerías. Aunque la mayor parte de los escoriales son modernos, la actividad de beneficio se desarrolló ampliamente en la Antigüedad, habiéndose localizado grandes depósitos de escorias en Las Herrerías y en el Barranco Francés (Sierra Almagrera), cuando se reemprende la actividad minera del sector en 1839, como consecuencia del descubrimiento del filón del Jaroso (Tapia, 1987; Ezquerro del Bayo, 1844).

minerales plumbo-argentíferos del orden de 2,1x10⁶ tm, durante el periodo 1850-1912 para todo este distrito. El promedio anual obtenido superaría las 30.000 t, valor superior al conocido, pero verosímil dadas las ocultaciones habituales (Souviron, 1898) y la probable inclusión del plomo producido en el yacimiento de Bédar, en las estadísticas de producción y exportación de la aduana de Garrucha. En cuanto a la producción de plata, los datos históricos nos dan valores, probablemente, muy alejados de la realidad, ya que si se tiene en cuenta el contenido medio en plata del Pb metálico, que era del orden de 4 kg/t (INI, 1952), cabe pensar en una producción para todo el periodo de 3.000 t de Ag, tan sólo en Sierra Almagrera.

III. MARCO FÍSICO: GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Sierra Almagrera se sitúa en el seno de las Cordilleras Béticas, y está asociada a las llamadas Zonas Internas o Dominio de Alborán, constituidas mayoritariamente por rocas paleozoicas y mesozoicas afectadas por el metamorfismo. En sus bordes W y NW afloran los materiales sedimentarios de la depresión de Vera, que está conformada por una potente cuenca sedimentaria rellena por sedimentos neógenos y cuaternarios, que continúa por el Norte hasta entroncar con la cubeta sedimentaria de Pulpí (Fig. 6). En esta región también existen diversos afloramientos de rocas volcánicas, de edad Mioceno Superior, incluidas tanto entre las rocas del basamento bético, como entre las rocas sedimentarias que rellenan las cuencas (Barragán, 1993).

El núcleo fundamental de Sierra Almagrera está constituido por el conjunto litológico inferior del dominio bético, llamado Complejo Nevado-Filábride (Booth-Rea et al., 2004). Sobre este complejo se sitúa el llamado Complejo Alpujárride, que aflora junto a Villaricos y en la Sierra de los Pinos y Sierra del Aguilón, que son la continuación natural de Sierra Almagrera hacia el Norte. Estos materiales son, fundamentalmente, esquistos negros y cuarcitas con

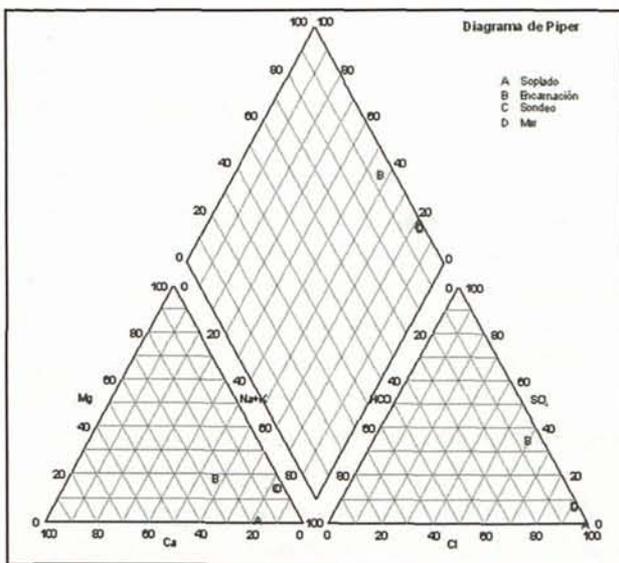


Fig. 7. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas de Sierra Almagrera y del agua de mar

En cuanto a la cantidad total de mineral extraído, los datos disponibles no permiten un cálculo preciso, sin embargo a partir de los datos de las fundiciones, aduana de Garrucha y de las leyes medias del "todo uno" explotado durante la segunda mitad del siglo XIX, se podría estimar una extracción de

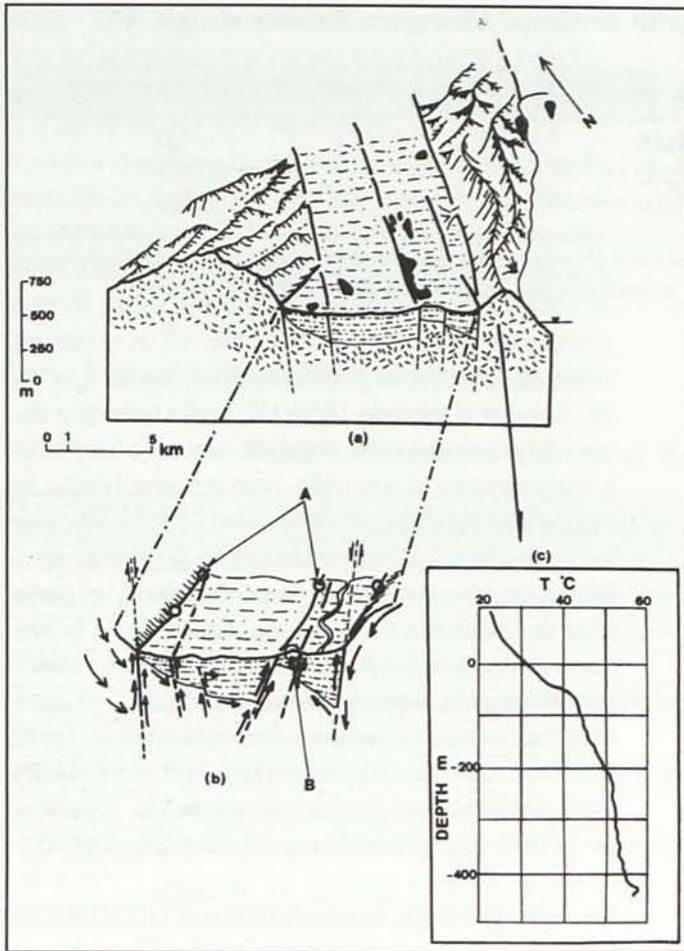


Fig. 8. Esquema del sistema geotérmico de Sierra Almagrera. (a): Esquema geológico general. (b): Esquema aproximado del flujo subterráneo. (c): Registro térmico de Sierra Almagrera (fuente: Maldonado y Rozycki, 1986)

potencias superiores a los 800 m, metavulcanitas intercaladas y mármoles micáceos negros situados en la parte más alta de la serie. Este conjunto metamórfico se asimila a la unidad Nevado-Filábride del "Lomo de Bas" o unidad "Calar Alto". La edad atribuida al conjunto es Paleozoico, siendo los mármoles del Devónico Medio (Barragán, 1993).

Los materiales del Complejo Alpujarride en esta zona están constituidos por filitas y esquistos grafitosos, presentando potencias mucho menores que los del Complejo Nevado-Filábride, subyacente.

Discordantes sobre los anteriores se sitúan los materiales sedimentarios neógenos que rodean Sierra Almagrera, presentándose en dos secuencias características:

a) Secuencia transgresiva de margas limoso-arenosas:

Se sitúa discordantemente sobre la formación descrita anteriormente (discordancia erosiva) y tam-

bién sobre materiales metamórficos. Está formada por margas limoso-arenosas de tonos amarillentos en superficie y azulados en corte fresco. Se trata de la "Formación Cuevas de Völk", ampliamente desarrollada en esta zona, y sobre la que se ubicaría la mayor parte de la instalación proyectada. En los bordes de la cuenca está formada por conglomerados litorales, calcarenitas y calciruditas bioclásticas. Se le atribuye una edad Messiniense terminal-Plioceno Inferior.

b) Secuencia Regresiva:

Está formada por un sistema de lóbulos deltaicos progradantes, con facies que corresponden a conglomerados homométricos, de cantos redondeados en capas fuertemente inclinadas (25-30°), de orden decimétrico a métrico. Progradan hacia el centro de la cuenca a arenas conglomeráticas y a margas de fondo de cuenca, idénticas a las de la secuencia anterior. Corresponde a la "Formación Espíritu Santo" y se data como Plioceno. La interrupción del funcionamiento del sistema deltaico asociado a esta secuencia, y que se produce con la retirada del mar, queda reflejada en la aparición de facies calcacareníticas, lumaquelas de bivalvos, bioconcentraciones de Ostreas, etc.

La mayor parte de los depósitos sedimentarios que limitan Sierra Almagrera son depósitos aluviales cuaternarios, formados por bloques, cantos, gravas y arenas resultantes de la erosión de los relieves circundantes. Ocupan las ramblas y lechos de los ríos actuales y también pequeñas terrazas irregularmente distribuidas, asociadas al río Almanzora y a las ramblas que desembocan en él, como la Rambla de Canalejas.

En cuanto a la estructura actual de los materiales, ésta parece controlada por una serie de fracturas posteriores a la disposición de los mantos, y que en este sector son un sistema de fracturas de dirección N 65 E, y otro de dirección N 15-20 E, paralelo al desgarre de Terrenos y a la falla de Palomares. Condicionado por los sistemas de fracturación, el vulcanismo neógeno aflora en Sierra Almagrera (Cala Panizo, Pozo del Esparto) y en áreas cercanas (isla Negra y de Terreros), así como en varias zonas de la Cuenca de Vera y Depresión de Pulpí (Cerro Colorado, Alifraga, Guazamara, etc.).

Desde un punto de vista hidrogeológico, Sierra Almagrera se comporta como un medio poco permeable, aunque el conjunto de fracturas que afectan a

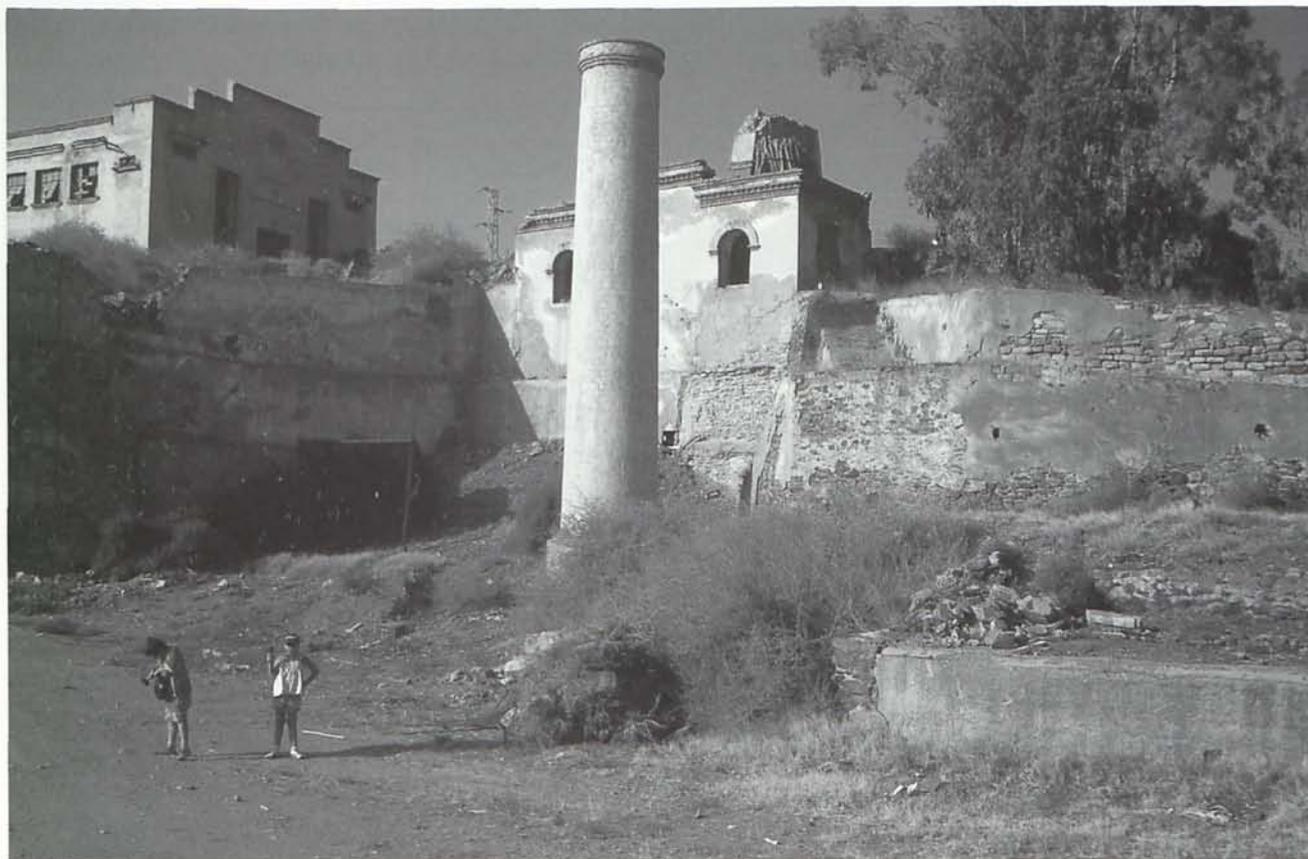


Figura 9. Vistas actuales de los pozos Encarnación y Jaulas, así como de las instalaciones anexas

los materiales metamórficos (esquistos y filitas) permiten el flujo de agua subterránea, que fue preciso controlar durante la vida activa de las minas. En algunos casos, las fracturas que existen en la Sierra y que constituyen, cuando están rellenas por sulfuros, los filones explotados, presentaban la existencia de los llamados "soplados". Dichos "soplados" eran oquedades relativamente grandes, abiertas dentro de la caja del filón, por donde encuentran fácil y abundante circulación las aguas que invaden todos los huecos de la formación rocosa (Gómez Iribarne, 1908).

De hecho, el conjunto de la Sierra se comporta como un sistema únicamente permeable por fracturación, constituyendo el conjunto de fracturas y fisuras un medio interconectado que permite un flujo importante de agua subterránea, buena parte de la cual es de origen termal, tal y como se verá a continuación. En ese sentido, para poder trabajar en los filones más profundos era preciso extraer un caudal de agua superior a los 3.000 m³/día, y cuya temperatura va en aumento conforme se desciende en profundidad. A pesar de que los medios fracturados suelen ser fuertemente heterogéneos y presentan valores relativamente bajos de conductividad hidráulica y transmisividad, los valores proporcionados por datos históri-

cos de caudales de bombeo y descensos de nivel piezométrico, medidos en varios puntos, permiten estimar una transmisividad macroscópica comprendida entre 162 y 659 m²/día.

En cuanto al origen de las aguas termales, los datos existentes no son definitivos al respecto, habiendo existido un gran polémica durante muchos años (Souviron, 1898; Gómez Iribarne, 1908). En cualquier caso, se han podido recopilar dos análisis históricos fiables de las aguas termales, que han sido comparados con dos análisis recientes del agua de mar en Calapanizo y del agua subterránea de un sondeo realizado en las proximidades de Villaricos. Los datos hidrogeoquímicos (Tabla 4) indican que las aguas termales además de presentar temperaturas superiores a los 50° C, son de carácter clorurado sódico-cálcico, a diferencia del agua del mar y del sondeo próximo a la costa. Otras características interesantes de las aguas termales de la Sierra, son la presencia de elevadas concentraciones de algunos metales como Li, Fe y Mn, y unas relaciones iónicas diferentes a las del agua marina.

La representación gráfica de las cuatro muestras estudiadas en un diagrama triangular o de "Piper" (Fig. 7), sugiere una posible influencia del agua mari-

Tabla 4. Principales datos hidrogeoquímicos de las aguas subterráneas de Sierra Almagrera. Valores en mg/L, excepto Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Cd, Pb y As (µg/L)

Muestra	Cl	SO4	HCO3	CO3	NO3	Na	Mg	Ca	K	pH
Soplado	35.744,5	948,4	63,1		0,0	20.513,0	576,7	8.584,0		
Encarnación	2.265,0	1.987,0	294,0	15,0	0,0	1.122,0	244,9	502,0	77,0	7,2
Sondeo (1)	13.400,0	2.070,0	207,0	0,0	8,8	8.697,0	2.080,0	420,0	341,0	6,8
Mar (2)	19.900,0	2.750,0	120,0	0,0	8,8	12.917,0	3.060,0	520,0	474,0	8,2

Muestra	PO4	SiO2	Temp	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb	As
Soplado			50,5	43.000							
Encarnación	4,2	10,1	29,3	170	1.350,0	240	1.260		30,0	670	
Sondeo (1)	9,1		19,8	4.000	2.800,0	120	130	0,5	0,01	22	3
Mar (2)	15,3		19,8	10	0,1	150	80	0,5	0,01	4	

(1): Sondeo próximo a Villaricos.

(2): Agua del mar en Calapanizo (Cuevas del Almanzora).

na en la composición del agua termal, de manera que ésta podría ser una mezcla de las aguas frías procedentes de la precipitación y/o de los acuíferos colindantes y de agua de mar calentadas por el foco térmico, y con una proporción creciente de sales en función de la temperatura alcanzada y del tiempo medio de tránsito por el medio rocoso.

En relación con el sistema geotermal que se desarrolla bajo Sierra Almagrera, los datos históricos (De Sierra, 1928) indican que dicho sistema proporcionaba un fluido muy salino (residuo seco: 30 g/l), y cuya temperatura alcanzaba los 55° C a profundidades próximas a los 200 bajo el nivel del mar. Por otro lado, los trabajos de Maldonado y Rozicky (1986) indican la existencia de un campo geotérmico de baja entalpía, y los perfiles geotérmicos elaborados muestran una evolución de la temperatura en profundidad muy distinta de la existente en campos geotermales muy activos (Fig.8), pudiendo evaluarse el gradiente hidrotermal en 9° C/100 m. El funcionamiento del sistema, en régimen influenciado, en función de los datos existentes, se podría explicar por la infiltración dominante de agua marina desde el borde de Sierra Almagrera hacia un hipotético foco térmico situado a unos 500-1000 m de profundidad bajo el nivel del mar, y un ascenso de las aguas termales por la red de fracturación de las rocas metamórficas (Navarro y Virto, 1994b).

En el caso de un sistema no influenciado, como ocurre en la actualidad, la infiltración de agua marina debe ser poco importante en relación al efecto que provocaban los pozos de desagüe de las minas en funcionamiento, lo que explicaría el elevado contenido salino que presentaban dichas aguas. Por otro lado, la recarga al sistema por infiltración de agua de lluvia

debe ser escasa, dada la magnitud de la evapo-transpiración en esta zona del levante almeriense.

IV. EL DESAGÜE DE BRANDT Y BRANDAU

El todavía visible desagüe de Brandt y Brandau (Fig. 9) se empezó a construir en 1894 a partir de dos pozos (Encarnación y Jaulas) situados a 19 m de distancia, aproximadamente, y emplazados sobre los sedimentos neógenos en el paraje del Arteal, al pie de la Sierra y a diferencia de lo que había sucedido con los anteriores desagües (pozo Constancia en Barranco del Jaroso y pozo San Juan en el Barranco Francés).

El plan general del desagüe consistía en los dos pozos anteriormente citados, de forma que el pozo Encarnación comunicaba con la galería de aguas que drenaba el agua de la Sierra, y el pozo Jaulas comunicaba con la sala de máquinas. Dicha sala o "anchurón" de máquinas se abrió a 120 m de profundidad, consistiendo en un cilindro horizontal de 6 m de diámetro y 17 de longitud, revestido de un anillo de mampostería de 0.6 m de espesor. Dicho "anchurón" se hallaba dividido horizontalmente por un piso, sobre el que descansaban las máquinas y bombas del desagüe, hallándose ocupada la bóveda inferior con los cimientos, tuberías de vapor y agua, válvulas y demás accesorios (Souviron, 1898).

Para captar el agua subterránea se construyó una galería de desagüe de dirección W-E, que cortaba distintas fracturas o "soplados", obligando a la perforación de un pozo de ventilación, llamado pozo "Lumbrera", a unos 180 m, aproximadamente, del inicio de la galería (Fig. 10). La presencia de una fractura o "quebrada" muy rica en agua y situada a unos 405 m de la entrada de la galería impidió la progresión de la

misma hacia el interior de la Sierra, quedando finalmente con dicha longitud.

Posteriormente (noviembre de 1903), se hizo cargo del desagüe la Compañía Minera e Industrial para España, constituida en Bruselas, cuando las aguas subterráneas se situaban a unos 95 m de profundidad bajo el nivel del mar, medidos en el pozo Casualidad, situado a unos 400 m del pozo Encarnación. El objetivo de este nuevo intento de desagüe se centraba en alcanzar un nivel del agua situado a unos 220 m bajo el nivel del mar, para lo cual se reprofundizaron los pozos Encarnación y Jaulas, que inicialmente tenían sus calderas a 139 y 130 m de la superficie, hasta los 257 y 250 m, respectivamente, y que correspondían a los 227 y 220 m bajo el nivel del mar. Se trata de dos pozos circulares de 3.2 m de diámetro (Figs. 9 y 10), a los que se unió el pozo Ana, gemelo del Encarnación y que también se reprofundizó hasta los 250 m, empleándose para la ventilación y la salida del escape de vapor de las máquinas (Gómez Iribarne, 1908). Con esta nueva configuración del sistema de desagüe, se construyó un nuevo "anchurón" para las máquinas a 220 m bajo el nivel del mar y al Oeste del pozo Encarnación, así como unas nuevas galerías de desagüe en dirección a la Sierra, situadas, también, a 220 m bajo el nivel del mar (Fig. 10).

Dichas galerías de desagüe, en número de dos y paralelas, distaban 8 m entre sí en sentido horizontal y 2.5 m en sentido vertical, penetrando 332 m en la Sierra, en dirección Este, aproximadamente. En el interior de la galería existían diversos diques con compuertas de hierro, capaces de resistir una presión de 30 atm, y con la finalidad de controlar posibles avenidas repentinas de agua que pudiesen provocar la rápida inundación de las instalaciones. Durante la construcción de las últimas galerías se atravesaron diversas fracturas (falla del pozo Luchana, en Fig. 10) y fisuras, sin que llegara a cortarse ningún filón mineralizado de importancia, lo que podría indicar que los filones explotables se sitúan en áreas muy localizadas, tal y como se desprende de la situación de las principales minas.

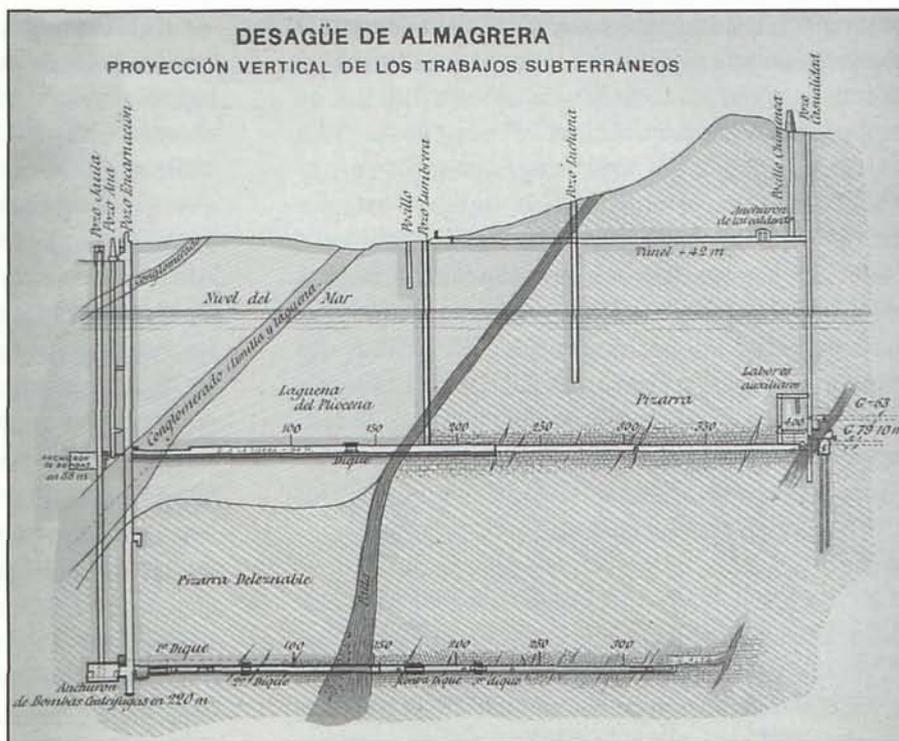


Fig. 10. Esquema del sistema de desagüe de Brandt y Brandau

Todos estos trabajos finalizaron en marzo de 1906, procediéndose a un nuevo periodo de desagüe, gracias a las instalaciones de calderas ubicadas en la superficie (8 calderas horizontales de 8.8 m de longitud) y tres máquinas verticales "Compound" instaladas en los anchurones. Cada máquina de bombeo movía un volante de 2.4 m con un peso de 3000 kg y que transmitía su movimiento a la bomba centrífuga correspondiente. Las bombas centrífugas eran de ruedas séxtuples con paletas curvas de 0.02 m de anchura y 0.35 m de diámetro, moviéndose a 1.500 rpm, y con capacidad para elevar 50 L/s de agua a una altura de 250 m. Para evitar la acción corrosiva de las aguas termales, las bombas estaban construidas de bronce fosforoso y con ejes de acero protegidos por un revestimiento del mismo material (Gómez Iribarne, 1908). El agua se elevaba a la superficie mediante una tubería de hierro fundido de 0.35 m de diámetro, instalada en el pozo Jaulas, desde donde era conducida hasta la rambla de Canalejas y mediante un canalillo hasta el río Almanzora, cerca de Villaricos.

Con este nuevo sistema de bombeo se consiguió un descenso de los niveles de agua subterránea en el Arteal desde los 95.08 m bajo el nivel del mar (16-03-03) hasta los 146.15 m bajo el nivel del mar (31-12-08), habiéndose extraído un total de 7.235.904 m³ de agua, en dicho periodo. Esta instalación funcionó

hasta 1912, cuando otra vez se paraliza el desagüe, a causa de las dificultades económicas que atravesaba la empresa desaguadora (Sánchez Picón, 1983). Con posterioridad a la paralización del desagüe de 1912, se hacen cargo del mismo distintas empresas privadas (Tabla 2), substituyéndose las antiguas calderas de vapor por motores eléctricos de 240-300 kw a 5000 volt y contratándose, inicialmente, la energía eléctrica a la compañía Hidroeléctrica de Bayarque y construyéndose, posteriormente, una central con motores Diesel (De Sierra, 1927). El nivel más profundo de las aguas, antes de la Guerra Civil, se consigue en 1935, cuando la empresa del desagüe (*Empresas Eléctricas e Industriales, S.A.*) alcanzó los 158.81 m bajo el nivel del mar.

V. EL DESAGÜE DE MINAS DE ALMAGRERA, S.A. (M.A.S.A.)

El Instituto Nacional de Industria (INI) constituyó el 8 de Noviembre de 1945 la empresa mixta: *Minas de Almagrera S.A.*, cuyo capital en 1955 llegó a alcanzar los 150 millones de ptas, y cuya finalidad inmediata fue la investigación, explotación y necesario desagüe del coto minero de Sierra Almagrera (INI, 1952). A partir de una serie de estudios preliminares, MASA estimó unas reservas de Pb, hasta los 400 m de profundidad bajo el nivel del mar, del orden de 360000 t de concentrados de plomo, con una concentración del metal del 68% y un contenido medio en Ag de 4kg/t. Al mismo tiempo, y por iniciativa de la empresa, se constituyó nuevamente el 18 de junio de 1948 el Sindicato de Mineros, contratándose a MASA el nuevo desagüe de la Sierra.

Para ello se empleó otra vez el antiguo pozo Encarnación, equipándose con cuatro grupos motobomba con una capacidad conjunta de extracción de 260 L/s y una potencia instalada de 1090 CV. También se aprovecharon dos grupos antiguos con una capacidad individual de bombeo de 40 L/s y 200 CV de potencia. Este sistema permitía el bombeo de 16.000-17.000 m³/día de agua, llegándose a extraer 9 millones de m³ y alcanzándose bajo el Arteal un nivel de las aguas situado a 200.96 m bajo el nivel del mar. También en este periodo se construyó el famoso socavón de Santa. Bárbara de 4123 m de longitud, el conjunto de 212 viviendas conocidas como "Korea" y dos centrales térmicas en el Arteal y Villaricos con una potencia conjunta de 1.900 kw, llegándose a un total de 1.154 personas empleadas en las diversas instalaciones de MASA en 1954.

Sin embargo, nunca llegaron a construirse las instalaciones de desagüe proyectadas a 330 y 400 m bajo el nivel del mar, y que eran necesarias para poder obtener las 360.000 t de concentrados de Pb, previstas en los estudios iniciales. De hecho, la explotación subterránea de las minas se abandonó en 1957², y en 1958 cierra MASA sus instalaciones de Sierra Almagrera, suspendiéndose definitivamente el desagüe. Desde entonces y hasta la actualidad (2010), los niveles piezométricos han ido ascendiendo paulatinamente, hasta acercarse a niveles próximos al del mar y ocupando buena parte de las labores mineras que durante tantos años fueron objeto de una constante lucha por mantenerse libres del agua subterránea.

En cuanto a la actividad minera, propiamente dicha, ésta prosiguió a partir de 1969 y hasta 1991, cuando diversas empresas privadas procedieron al beneficio de las antiguas escombreras, incluyendo su tratamiento por flotación en la planta del Arteal. También, en la década de 1980 la conocida y desaparecida empresa minera "Peñarroya" rehabilitó la galería del "socavón" o Santa Bárbara y estudió la posibilidad de explotar los altos contenidos en Li que presentan las aguas termales, aunque finalmente no se llegó a materializar ningún proyecto industrial.

En el momento presente, buena parte de estas instalaciones sufren un importante proceso de degradación, en ocasiones acelerado por los explotadores agrícolas que sin ningún reparo destruyen instalaciones centenarias y cultivan sobre suelos contaminados. Por ello se hace necesaria la protección efectiva de un patrimonio único, en algunos casos, y que recuerda un brillante pasado industrial y el tenaz esfuerzo, técnico y humano, de varias generaciones de mineros almerienses.

VI. CONCLUSIONES

En las antiguas minas de Sierra Almagrera (Cuevas del Almanzora), el coste económico asociado al objetivo de mantener secas las labores y el continuo descenso de los precios del plomo y de la plata desde finales del siglo XIX, llevó a la paralización de los trabajos subterráneos en 1957, después de un amplio periodo en el que se pusieron en marcha distintos

² El abandono de la explotación pudo deberse a la caída en los precios del Pb y Ag, a la exigua potencia de las mineralizaciones de galena en profundidad (2 cm) y al empobrecimiento de los filones con la profundidad que pasaban a estar constituidos de forma dominante por calcopirita, pirita y siderita, tal y como ha sucedido en yacimientos similares.

sistemas de desagüe. Entre ellos, es preciso destacar el sistema de pozos y galerías implantado por Brant y Brandau en 1903, el cual constituyó un avance tecnológico en su época, y de hecho, con algunas modificaciones ulteriores, funcionó desde 1948 hasta 1958, a cargo de la empresa pública *Minas de Almagrera, S.A.* (MASA), en el último periodo de explotación subterránea de los filones.

En cuanto al origen de las aguas extraídas por los sucesivos desagües mineros, los datos existentes no son definitivos al respecto, habiendo existido un gran polémica durante muchos años (Souviron, 1898; Gómez Iribarne, 1908). En cualquier caso, los datos hidrogeoquímicos existentes, indican que las aguas termales además de presentar temperaturas superiores a los 50° C, son de carácter clorurado sodico-cálcico, a diferencia del agua del mar. Otras características interesantes de las aguas termales de la Sierra, son la presencia de elevadas concentraciones de algunos metales como Li, Fe y Mn, y unas relaciones iónicas diferentes a las del agua marina. No obstante, los diversos estudios realizados sugieren una posible influencia del agua marina en la composición del agua termal, de manera que ésta podría ser una mezcla de las aguas frías procedentes de la precipitación y/o de los acuíferos colindantes y de agua de mar calentadas por el foco térmico, y con una proporción creciente de sales en función de la temperatura alcanzada y del tiempo medio de tránsito por el medio rocoso.

Dado el importante proceso de degradación de las instalaciones mineras de desagüe, parece necesaria la protección efectiva de un patrimonio único en algunos casos, y que recuerda un brillante pasado industrial y el tenaz esfuerzo, técnico y humano, de varias generaciones de mineros almerienses.

VII. REFERENCIAS

- AGRICOLA, G. (1556): *De Re Metallica*. Traducción de H.C. Hoover y L.H. Hoover, London 1912, 641 pp.
- BARRAGÁN, G. (1993): "El encuadre geológico del término municipal de Cuevas del Almanzora". *Recursos naturales y Medio Ambiente de Cuevas del Almanzora*, IEA, pp.131-149.
- BOOTH-REA, G.; AZAÑÓN, J.M.; AZOR, A.; GARCÍA-DUEÑAS, V. (2004): "Influence of strike-slip fault segmentation on drainage evolution and topography. A case study: the Palomares Fault Zone (southeastern Betics, Spain)". *Journal of Structural Geology*, 26: 1615-1632.
- CALDERÓN, S. (1910): *Los minerales de España*. Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Tomo I, Madrid, 416 pp.
- CUADRADO, J. (1947): "Almizaraque, la más antigua explotación de plata de España". *2º Congreso Arqueológico del Sudeste Español*. Albacete, 1946-47, pp. 168-185.
- DE SIERRA, A. (1928): *Los Hierros de Almería y Granada*. Memorias I.G.M.E. Vol. V, Tomo 3, 657 pp.
- EZQUERRA DEL BAYO, J. (1844): *Datos y observaciones sobre la industria minera*. Madrid.
- FALCES, A. (1883): "Memoria historial y descriptiva de Sierra Almagrera". *El Minero de Almagrera*. Cuevas.
- FERRÉ, E. (1979): *El Valle del Almanzora. Estudio Geográfico*. Edición conjunta de la Caja Rural Provincial, Diputación Provincial y M. P y Caja de Ahorros de Almería.
- GÓMEZ IRIBARNE, B. (1908): "Desagüe de Sierra Almagrera". *Revista Minera*, pp. 142-149.
- INI (1952): "Minas de Almagrera S. A.". *Revista de Información del Instituto Nacional de Industria*. Año VI, Nº 1, pp. 1-11.
- MALDONADO, A., ROZYCKY, A. (1986). "Anomalía geotérmica en Sierra Almagrera (Almería)". *El Agua en Andalucía*, pp. 393-401.
- MARTÍNEZ, J.; GARCÍA GUINEA, J.; LÓPEZ RUIZ, J.A.; LÓPEZ GARCÍA, J.; BENITO, R. (1989): "Las mineralizaciones epitermales de Sierra Almagrera y de la cuenca Sedimentaria de Herrerías, Cordilleras Béticas". *Boletín Sociedad Española de Mineralogía* (12), pp.261-271.
- MARTÍNEZ, J. (1991): "Sulphide and sulphosalt mineralogy and paragenesis from the Sierra Almagrera veins, Betic Cordillera (SE Spain)". *Estudios Geológicos* (47), pp. 271-279.
- NAVARRO, A.; VILADEVALL, M.; FONT, X., RODRÍGUEZ, P. (1994a): "Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos". *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 105-1, pp. 85-101.
- NAVARRO, A.; VIRTO, L. (1994b): "Fundamentos básicos de la modelización de sistemas hidrotermales. Aplicación teórica al sistema Almagrera-Herrerías". *Geología y Metalogenia en ambientes oceánicos. Depósitos Hidrotermales Submarinos*. Publicaciones Especiales I. E. O. nº 18, pp.39-51.
- NAVARRO, A. (1997): "Modelización teórica del transporte de vapor de mercurio a partir de zonas mineralizadas: Aplicación a la localización de yacimientos epitermales." En: *Recursos Naturales y Medio Ambiente en el SE Peninsular*, Ed.: García-Rosell, L. y Navarro, A.; IEA, pp. 307-320.

- NAVARRO, A.; COLLADO, D.; FONT, X.; VILADEVALL, M. (1997): "Geoquímica de las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería, España)." En: *Recursos Naturales y Medio Ambiente en el SE Peninsular*, Ed.: García-Rossell, L. y Navarro, A.; IEA, pp. 321-333.
- NAVARRO, A.; COLLADO, D.; SÁNCHEZ, J.A. (1998): "Análisis de la contaminación por actividades mineras de los suelos de la cuenca baja y delta del río Almanzora". *Boletín Geológico y Minero* 109, pp. 69-87.
- NAVARRO, A.; COLLADO, D.; CARBONELL, M.; SÁNCHEZ, J.A. (2004): "Impact of Mining Activities in a semi-arid environment: Sierra Almagrera district, SE Spain". *Environmental Geochemistry & Health* (26), pp. 383-393.
- NAVARRO, A.; CARDELLACH, E.; MENDOZA, J.L.; CORBELLA, M.; DOMÈNECH, L.M. (2008): "Metal mobilization from base-metal smelting slag dumps in Sierra Almagrera (Almería, Spain)". *Applied Geochemistry* (23), pp. 895-913.
- NAVARRO, A.; CARDELLACH, E. (2009): "Mobilization of Ag, heavy metals and Eu from the waste deposit of Las Herrerías mine (Almería, SE Spain)". *Environmental Geology* (56), pp. 1389-1401.
- PÉREZ DE PERCEVAL, J. (1989): *Minería Almeriense Contemporánea*. Instituto de Estudios Almerienses, Diputación Provincial de Almería, 350 pp.
- SÁNCHEZ PICÓN, A. (1983): *La Minería del Levante Almeriense: 1838-1930. Especulación, Industrialización y Colonización Económica*. Editorial Cajal, Almería, 308 pp.
- SÁNCHEZ PICÓN, A. (1992): *La integración de la economía almeriense en el mercado mundial (1778-1936)*. Instituto de Estudios Almerienses, Diputación de Almería, 573 pp.
- SIRET, L. (1907): *Villaricos y Herrerías. Antigüedades Púnicas, Romanas, Visigóticas y Árabes. Memoria Descriptiva e Histórica*. Edición facsimil, Mariarsa Ed.; Madrid 1985, 102 pp.
- SOUVIRON, R. (1898): "El desagüe de Sierra Almagrera". *Rev. Minera Metalúrgica y de Ingeniería*. pp. 1716.
- TAPIA GARRIDO, J. A. (1987): *Historia de la Vera Antigua*. Servicio de Publicaciones de la Diputación Provincial de Almería, 329 pp.

