

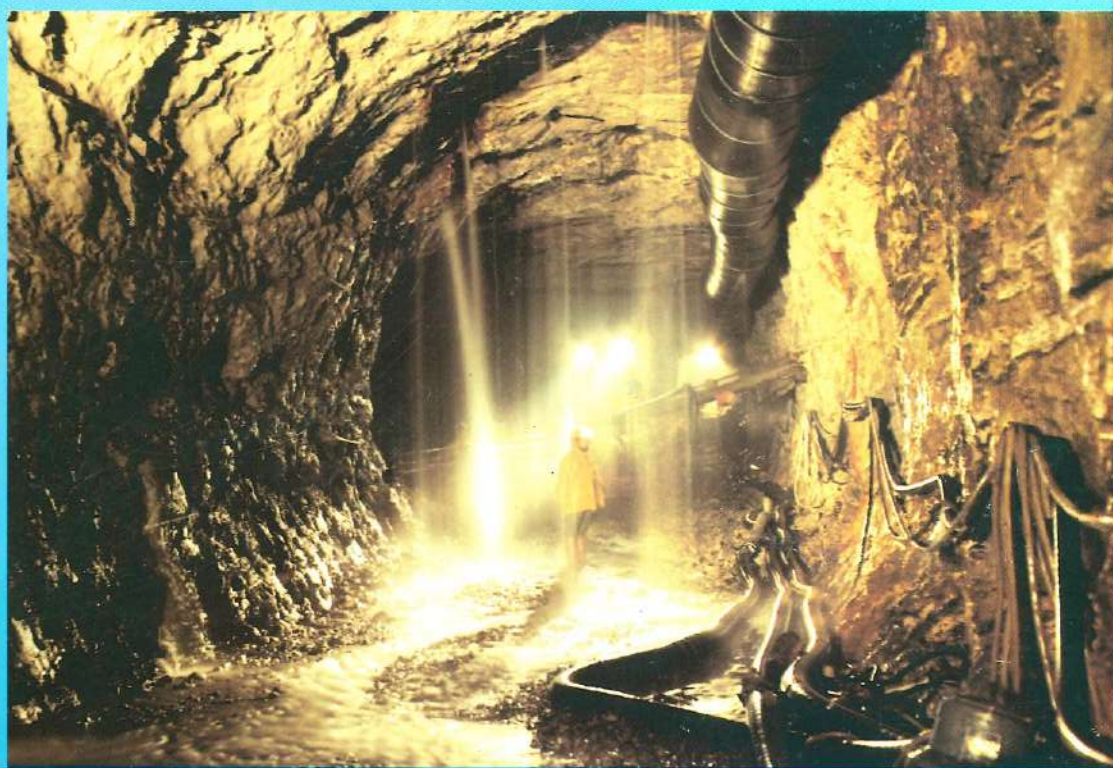


Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



ASOCIACION NACIONAL DE
INGENIEROS DE MINAS
(GRUPO ESPECIALIZADO DEL AGUA)

JORNADAS SOBRE TECNOLOGIA DEL AGUA EN LA MINERIA



Colección: TEMAS GEOLOGICO - MINEROS

ABRIL 1992

El Instituto Tecnológico GEOMINERO de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un "Geological Survey of Spain", es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria y Energía, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R. D. 1270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



ASOCIACION NACIONAL DE
INGENIEROS DE MINAS
(GRUPO ESPECIALIZADO DEL AGUA)

JORNADAS SOBRE TECNOLOGIA DEL AGUA EN LA MINERIA

Colección: TEMAS GEOLOGICO - MINEROS

ABRIL 1992

EDITA: Instituto Tecnológico Geominero de España
DEPOSITO LEGAL: M-11664-1992
I.S.B.N: 84-7840-110-5
N.I.P.O.: 241-92-007-8
IMPRIME: ReproMarket

PRESENTACION

La actividad minera, al realizarse en contacto con el agua, ha desarrollado una ingeniería y técnicas específicas, que permiten efectuar el laboreo, el tratamiento y la elaboración de los diferentes materiales y sustancias. Al mismo tiempo, se mantiene la calidad del agua, o se depura antes de su devolución al ciclo hidrológico.

Conscientes de la importancia técnica y social de la minería y las actividades concatenadas con ella, el Instituto Tecnológico GeoMinero de España y el Grupo Especializado del Agua de la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas, decidió promover estas Jornadas.

Cuando se estructuró el programa de las Jornadas, se repasó el amplio espectro de la minería española y se vió la imposibilidad de introducir todos los tipos de minerías y sus actividades en tan corto espacio de tiempo. Algunas de ellas por su importancia, serían merecedoras de unas Jornadas para ellas solas.

El desarrollo de las Jornadas, se realiza con un primer grupo de ponencias, en las cuales se expone la influencia, de la presencia del agua, sobre el laboreo. Después de este primer grupo, se expone en otro, los problemas y soluciones que se plantean, respecto al medio natural, en las inmediaciones de las explotaciones mineras. Terminan, con el tratamiento y vertido a cauces públicos, de las aguas procedentes de labores mineras y plantas de tratamiento, así como de sus aspectos legales. La exposición, la realizan los técnicos de los diferentes sectores mineros, dando entrada a un coloquio abierto.

COLABORACION TECNICA

- | | |
|--|--|
| * Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales | * Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente |
| * Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Cátedra de Hidrogeología. | * Empresa Nacional de Electricidad, S.A. (ENDESA) |
| * Asturiana de Zinc, S.A. (AZSA) | * Compañía Andaluza de Minas (CAM) |
| * Lignitos de Meirama, S.A. | * Empresa Nacional Hulleras del Norte, S.A. (HUNOSA) |
| * Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S.A. (ENADIMSA) | * Pioneer Concrete Hispania, S.A. (PIONEER), miembro de A.N.E.F.A. |

Las Jornadas sobre Tecnología del Agua en la Minería, se desarrollan con la colaboración desinteresada de las entidades y empresas que se mencionan. Es de agradecer, el entusiasmo que han puesto en su realización, los técnicos en los que han delegado. También ha sido muy estimable, la aportación de las ingenierías que, en algún momento, investigaron y resolvieron los problemas que existían en las explotaciones mineras.

INDICE

PRIMERA SESION

Problemática del Agua en la Minería Española.

1. El agua y las explotaciones a cielo abierto. Tecnología aplicada, para el desarrollo de la mina de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña).
2. El Karst de la mina de Reocín: Un problema hidrológico.

SEGUNDA SESION

Gestión del agua en la Minería, usos y alternativas.

1. Planteamiento integral, de la hidrogeología en la minería. Caso de Minas del Marquesado.
2. Depuración de las aguas de mina. Lignitos de Meirama.
3. Análisis hidrogeológico, de las explotaciones subterráneas de carbón, en el Grupo Aller.
4. Depuración de vertidos a cauces públicos, de los lavaderos de carbón de HUNOSA.
5. El agua en los mármoles de Macael y su Plan Director.

PRIMERA SESION

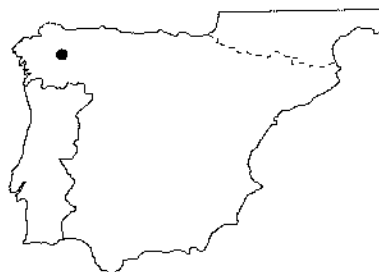
PROBLEMATICA DEL AGUA EN LA MINERIA ESPAÑOLA

Moderador: D. José Félix Ibáñez Guerra

**EL AGUA Y LAS EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO
MINAS DE PUENTE DE GARCIA RODRIGUEZ
EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD, S.A. (ENDESA)**

Ponentes:

D. Julio López García



EL AGUA Y LAS EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO TECNOLOGIA APLICADA PARA EL DESARROLLO DE LA MINA DE AS PONTES DE GARCIA RODRIGUEZ (LA CORUÑA)

(Julio López y Angel Lozano - ENDESA-)

INTRODUCCION

1.1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA MINA DE PUENTES

El yacimiento de lignito pardo de Puentes de García Rodríguez se localiza en el Noroeste de España, concretamente en el borde oriental de la provincia de La Coruña.

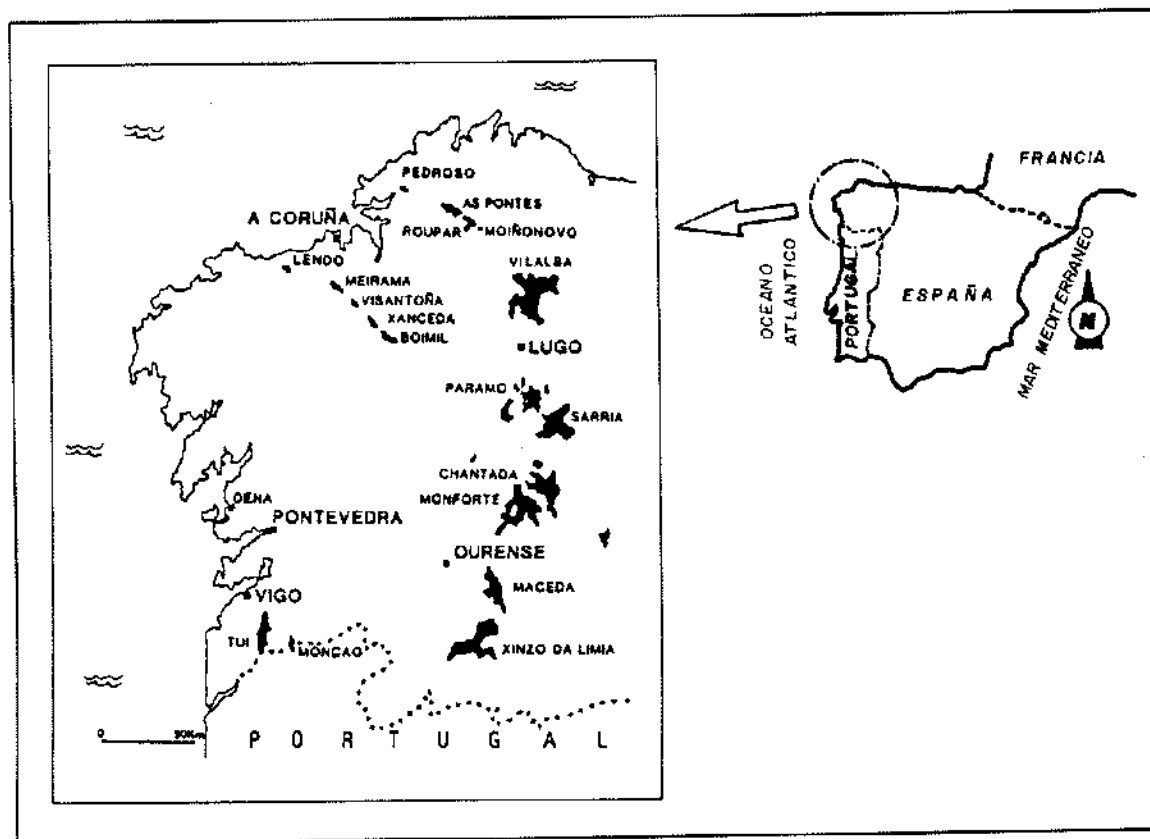


FIGURA 1 - PLANO DE SITUACION DE AS PONTES Y DE LAS PRINCIPALES CUENCAS
TERCIARIAS GALLEGAS.

El depósito productivo consiste en una potente serie sedimentaria del Terciario, constituida por una alternancia rítmica de arcillas y lignito, con intercalaciones de arenas. La roca encajante está constituida por filitas y cuarzo-filits del Paleozoico. La cuenca tiene una longitud de 8,5 Km. con anchuras máximas de 2 y 3 Kms. en sus bordes occidental y oriental respectivamente, mientras que en la zona central existe un umbral del zócalo que reduce la anchura a 1 Km. La superficie del yacimiento es de 12 Km².

La corta final prevista ocupará una extensión de 11,8 Km², parte de los cuales, concretamente 3 Km², corresponden a las filitas de los bordes, y el resto a la cuenca sedimentaria.

La explotación se realiza mediante el denominado método alemán, basado en una extracción con excavadora de rodete, transporte mediante cintas, y vertido con apiladora. En estos momentos se dispone de 7 excavadoras, 5 apiladoras y más de 60 Kms. de cintas transportadoras. La extracción de estériles en los bordes, que por su dureza no son excavables con los medios anteriores, se hace mediante maquinaria convencional (bulldozer y retroexcavadora), y el transporte en este caso suele realizarse con camiones.

La geometría de la corta y las desfavorables condiciones geotécnicas no permiten la ejecución de escombreras interiores hasta períodos muy avanzados del laboreo. Por ello, la mayor parte de los estériles, unos 700 Mm³, deben depositarse en una escombrera exterior ubicada en el borde suroeste de la Mina.

Las reservas de lignito en origen eran de 280 Mtm. de las cuales se han extraído 163 Mtm. hasta 1991, es decir, que aún faltan por explotar 117 Mtm., lo que al ritmo de producción previsto para el futuro, proporcionan unas reservas hasta el año 2009. Por su parte el ratio (m³ de estéril/tm de carbón) medio de la explotación está en torno a 3.

1.2. EL AGUA EN LA MINA DE PUENTES

Se habla de los problemas que el agua provoca en las explotaciones mineras, bien sean a cielo abierto o subterráneas, así como de las técnicas que deben aplicarse para reducir sus aspectos perjudiciales, son muchas las referencias teóricas que se encuentran, incluso se podría asegurar que todo profesional de la minería conoce y es consciente de las soluciones a plantear frente a problemas concretos.

Sin embargo, otra cosa bien diferente nos muestra la realidad cuando se trata de observar las aplicaciones que son llevadas a la práctica. Unas veces por falta de inversiones, y otras por un criterio no muy claro del ahorro, lo cierto es que, aunque se realizan proyectos mineros que incluyen todos los aspectos relacionados con los drenajes del agua, y conservación de su calidad para reducir el impacto ambiental negativo, finalmente sólo se aplican soluciones parciales cuando los problemas son ya difíciles de remediar y, en cualquier caso, obligan a realizar importantes esfuerzos económicos a la Empresa.

En el caso concreto de la Mina de Puentes existe toda una experiencia, no exenta de fracasos, en relación con los problemas que el agua ha generado a lo largo de los años.

Conscientes del carácter global que tiene el agua en la explotación (mina y escombrera) y considerándola como un factor que influye no sólo en el laboreo sino, por supuesto, en la producción planificada a corto y largo plazo, es por lo que ENDESA ha dispuesto toda una organización para acometer cada uno de los problemas derivados de la presencia del agua. Para dar una idea de lo expuesto basta con observar las cifras del Cuadro - I donde se expone el personal de plantilla relacionado total o parcialmente con el agua.

CUADRO I

	TITULOS	OPERARIOS
ESTUDIOS Y PROYECTOS DRENAJE SUPERFICIAL	2	3
ESTUDIOS Y PROYECTOS DRENAJE SUBTERRANEO	3	8
SONDEOS	1	35
EXPLOTACION DRENAJE	4	27
MANTENIMIENTO EQUIPO E INSTALACIONES	2	15
DEPURACION AGUAS	5	21
TOTAL	17	109

Si bien el tiempo medio que dedica dicho personal al tema del agua es, aproximadamente, del 50 %, existen equipos como los de Hidrogeología y Planta depuradora, cuya existencia se justifica por la necesidad de su dedicación exclusiva en relación con el agua.

La filosofía de actuación consiste, como primer paso, en disponer unos equipos técnicos para elaborar estudios y proyectos de drenaje, tanto superficial (Sección de Proyectos) como subterráneo (Sección de Hidrogeología). Dichos gabinetes trasvasan la información a los equipos de explotación propiamente dichos, los cuales proporcionan los medios para crear la infraestructura necesaria del drenaje. Por su parte la Sección de Mantenimiento Eléctrico, se encarga tanto del suministro de energía eléctrica como de la reparación de todos los equipos de bombeo existentes.

Finalmente, el producto que se deriva de todo ello, esto es, el agua bombeada y la procedente de escorrentía superficial antes de alcanzar la mina y la escombrera, es conducida a través de unos canales perimetrales hasta una planta depuradora donde se restituye su calidad físico-química antes de verterla en el río Eume. Toda la organización descrita se resume en el siguiente esquema:

CUADRO II

GABINETES TECNICOS					
PROYECTOS		HIDROGEOLOGIA		CONTROL QUIMICO Y MEDIO AMBIENTE	
Estudios y proyectos de drenaje					

OBRAS DE INFRAESTRUCTURA			DEPURACION AGUAS
PREPARACION	SONDEOS	MANTENIMIENTO	Restibución de la calidad físico-química de las aguas
Cunetas	Pozos de captación	Líneas eléctricas	
Canales	Piezómetros	Reparación bombas	
Depósitos			
Impulsiones			
Bombeo	Bombeo aguas subterráneas		

pretendiendo alcanzar los siguientes objetivos:

- Laboreo en condiciones óptimas
- Estabilidad de taludes
- Mantener buenas condiciones ambientales

Es de esta manera como, en nuestra opinión, se puede garantizar la producción solicitada por la Central Térmica (aproximadamente 12 MT./año de lignito), en condiciones de calidad y seguridad suficientes para la Mina y para el entorno ambiental.

EL AGUA SUPERFICIAL

2.1 HIDROLOGIA SUPERFICIAL

El yacimiento de lignito está encuadrado en una cuenca hidrográfica de unos 70 Km², cuyos bordes están limitados por una serie de suaves colinas. Hacia el interior se desarrolla una red fluvial de carácter permanente que viene a confluir en la margen derecha del río Eume, principal curso fluvial de la zona. La diferencia máxima entre la cota más elevada (Monte Caxado) y la inferior (río Eume) es de 425 metros, mientras que la cota media se sitúa en torno a los 390 metros.

Las precipitaciones anuales que se registran corresponden a las más elevadas de la península, debido a la afección de frentes atlánticos que, asociados a una geografía singular, provocan aguaceros muy constantes. El valor medio es de 1.660 l/m² anuales, aunque los registros históricos de los últimos 44 años, ofrecen valores extremos de 2.604 l/m² y 1.021 l/m² como mayor y menor respectivamente. Mensualmente se han llegado a registrar 772 l/m², y en un sólo día 126 l/m², como valores máximos. La distribución de frecuencias de Gumbel proporciona las siguientes precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno:

Período de retorno (años)	1	5	10	25	50	100
Precipitación máxima en 24 h.	48	83	99	120	135	151

2.2. METODOLOGIA DEL DRENAJE SUPERFICIAL

A finales de 1991 la superficie alcanzada por la explotación es, aproximadamente la misma que la de la geometría final, puesto que prácticamente se han alcanzado los bordes previstos. Esta superficie, unos 11,8 km², está protegida perimetralmente por dos canales de guarda que recogen las aguas de los ríos y arroyos antes de verter a la explotación. Igualmente la escombrera está bordeada por un canal que la protege de avenidas en su totalidad. (Figura 2).

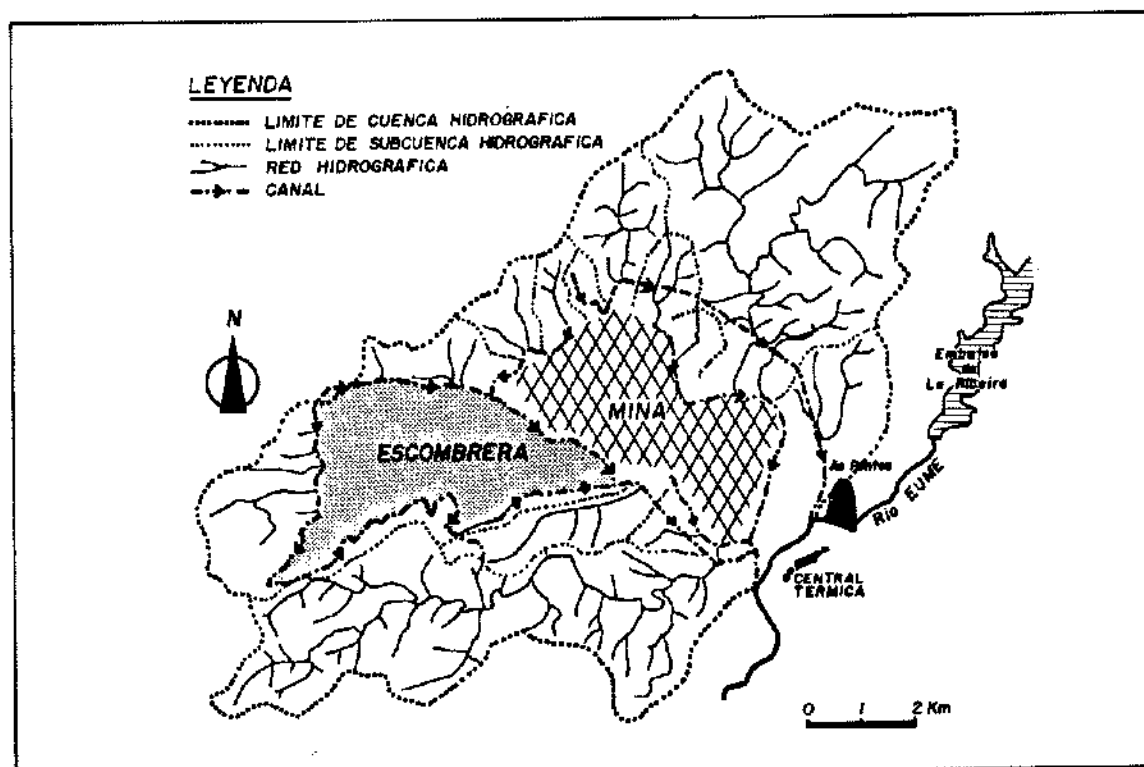


FIGURA 2 - CUENCA HIDROGRAFICA VERTIENTE A LA MINA Y ESCOMBRERA ASI COMO SISTEMA DE CANALES DE PROTECCION.

En conjunto existen 34 kms. de canal, 6 de ellos en túnel, a fin de unir los valles de cada río, lo que ha supuesto la ejecución de secciones de hasta 37 m² en canal y 30 m² en túnel, para una capacidad de desagüe de 130 m²/s.

En lo concerniente al drenaje superficial dentro de la mina, este se consigue mediante la conducción de las aguas de los bancos a través de cunetas hasta diversos depósitos conectados entre sí, bien por gravedad o por impulsiones (Figura 3). Cada uno de los depósitos dispone de una pequeña cuenca receptora con objeto de diversificar el conjunto del agua de la lluvia. Finalmente, desde varios depósitos se evacuan por bombeo las aguas a los canales perimetrales. (Figura 4).

En el siguiente cuadro se resumen los parámetros globales del drenaje interior de la mina, mientras que en la referida Figura 4 se incluye información individual para cada depósito.

CUADRO III

	Unidades	Campo Oeste	Campo Este	Total
Capacidad regulación	m ³	415.000	744.500	1.159.500
Cuenca receptora	m ²	302.00	5.940.500	12.243.100
Capacidad desagüe	m ³ /h	14.000	11.100	25.100
Potencia instalada	kW	7.03	3.87	10.939
Número de bombas	-----	30	27	57

Por su parte, la escombrera está diseñada para desaguar parte de su superficie a los canales primetrales, mientras que otra parte se conduce por cunetas hasta una arqueta de entrada a un túnel que recorre la base de la escombrera a través del antiguo cauce del río Almigonde cuyo valle está siendo ocupado por el vertido de estériles. Dicho túnel es prolongado periódicamente a medida que la superficie de escombrado aumenta.

2.3. TIPOS DE BOMBAS EN LAS INSTALACIONES

Actualmente se dispone de unas existencias de 68 equipos de bombeo, 57 de ellos instalados en depósitos y el resto en almacén. Sus características son las del Cuadro IV.

Las bombas verticales Worthington tipo 16 QL-21 serán sustituidas en el futuro por bombas horizontales, de cámara partida, que por su sencillez, facilidad de mantenimiento y coste, presentan más ventajas que aquellas otras de semejantes características.

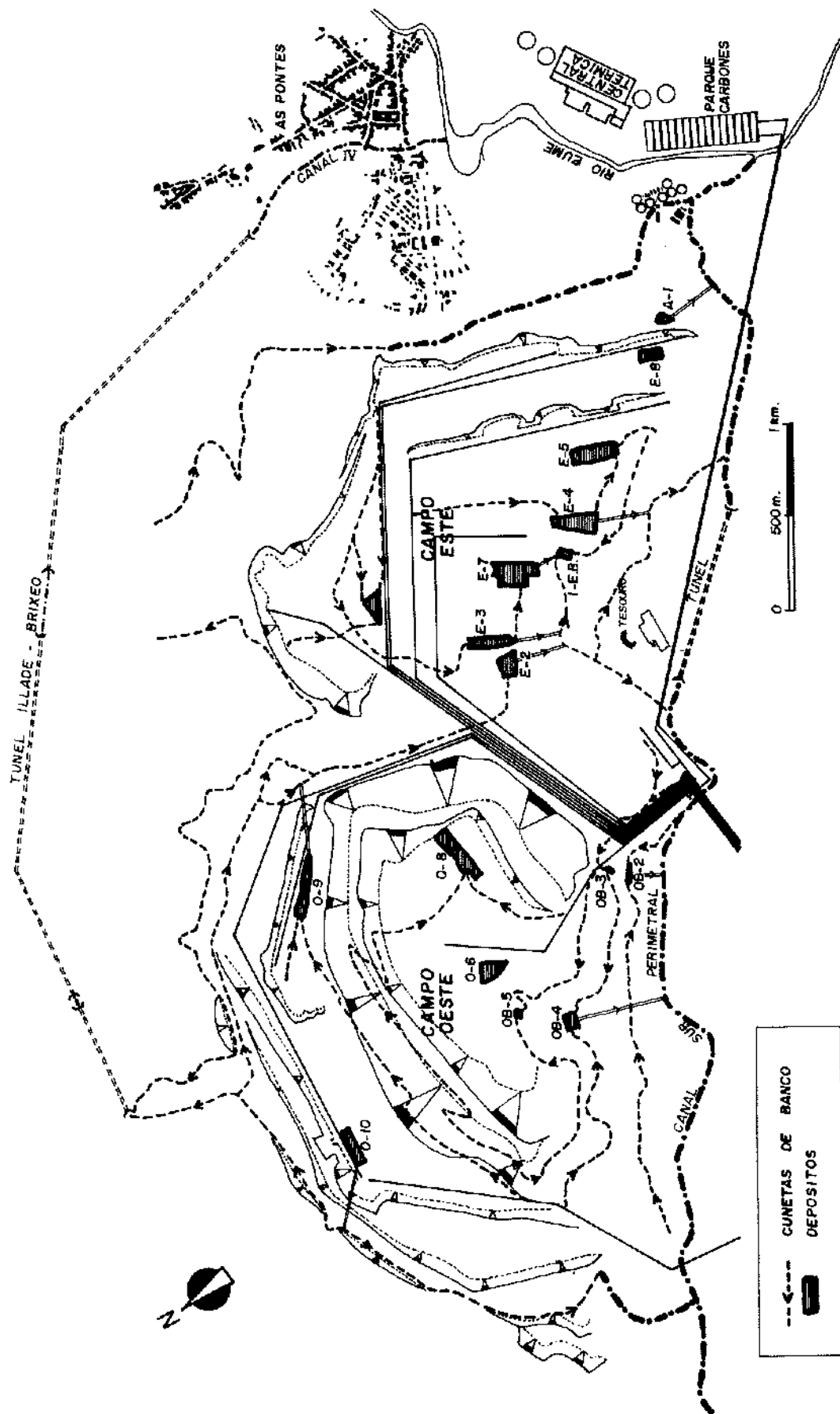
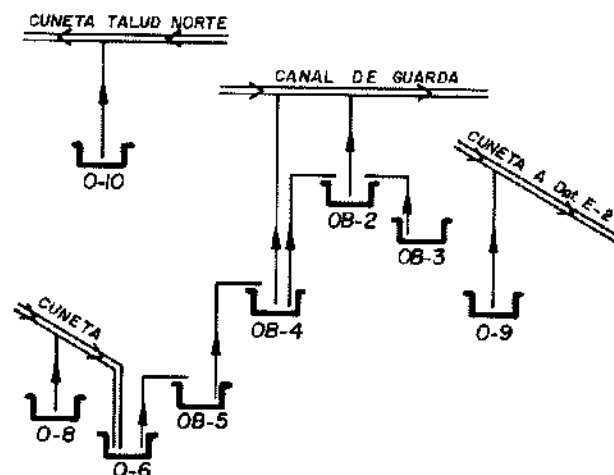


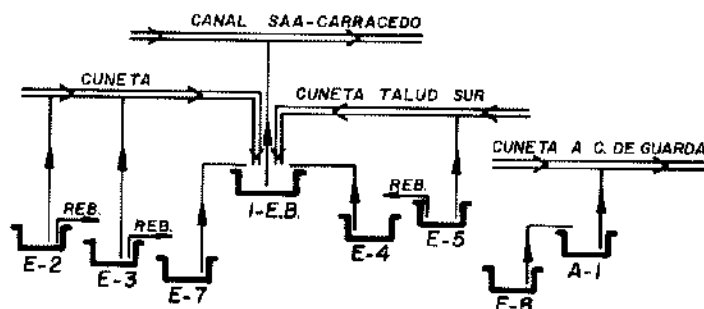
FIGURA 3 - DISTRIBUCION DE CANALES, CUNETAS Y DEPOSITOS PARA DRENAJE SUPERFICIAL DE LA MINA.

CAMPO OESTE



CARACTERISTICAS DEPOSITOS				
Nº DPST.	CUENCA RECEPTO. (m³)	CAPACID. REGULAC. (m³)	BOMBEO INSTALAD. (m³/h)	Nº DE BOMBAS
OB-2	342.240	20.000	2.300	2
OB-3	134.100	7.000	650	2
OB-4	630.000	40.000	9.000	5 + 1
OB-5	302.100	18.000	6.825	3 + 1
O-6	1.000.000	60.000	5.750	5
O-8	1.837.760	170.000	3.700	4
O-9	726.400	55.000	1.500	2
O-10	857.000	55.000	2.700	3

CAMPO ESTE



CARACTERISTICAS DEPOSITOS				
Nº DPST.	CUENCA RECEPTO. (m³)	CAPACID. REGULAC. (m³)	BOMBEO INSTALAD. (m³/h)	Nº DE BOMBAS
I-E.B.	240.000	20.000	9.000	4 + 1
E-2	1.397.440	200.000	950	3
E-3	309.930	20.000	950	2
E-4	169.280	90.000	550	2
E-5	980.000	100.000	1.750	2 + 2
E-7	599.200	150.000	3.200	2 + 2
E-8	681.160	60.000	1.400	2
A-1	263.140	4.500	2.100	3

FIGURA 4 - ESQUEMA DE LOS DRENAJES INTERNOS EN AMBOS CAMPOS DE LA EXPLOTACION Y CARACTERISTICAS DE LOS DEPOSITOS.

CUADRO IV

MARCA	TIPO	Nº	POTENCIA (KW)	ALT. IMPULSION	CAUDAL (m³/h)
Worthington Mod. 16 QL-21	vertical	5	570	75	2.000
Flygt Mod. 5250	Sumergible	22	180	50	900
Flygt Mod. 2250	Sumergible	23	54	20	650
Flygt Mod. 2400	Sumergible	12	90	50	400
Flygt Mod. 2201	Sumergible	1	37	40	180
Sarlin	Sumergible	5	4	20	650

2.4. ESQUEMAS DE DRENAJE PARA GEOMETRIAS FINALES

Si bien una distribución lógica para situar los depósitos en taludes finales sería disponerlos en función de los taludes, se ha decidido ubicarlos en el talud sur, el cual ofrece mayores garantías en cuanto a estabilidad, y recogerán el agua procedente de las cunetas distribuidas por los bancos de explotación. La capacidad de los depósitos se determina en función de los ábacos representados en la Figura 5, teniendo en cuenta la superficie de la cuenca receptora que vierte sobre los mismos.

Se han proyectado depósitos con alturas de impulsión variable entre 50 y 60 metros, por razones tanto técnicas como económicas. En efecto, las bombas que serán necesarias para el esquema de drenaje final ya están disponibles en la actualidad, teniendo la gran mayoría una altura de impulsión superior a 50 metros. Por otra parte, el aumento de la altura implica la construcción de menos depósitos. En estas condiciones, aunque el coste de elevación del agua sea algo mayor, siempre resultaría más ventajoso que el costo de excavación de un número suplementario de depósitos más el pago de sus intereses. En definitiva, en el Campo Oeste se prevé disponer de dos líneas de bombeo con cuatro y cinco depósitos respectivamente en cada una. También el Campo Este tendrá dos líneas de elevación, la primera con cuatro depósitos y la segunda con dos.

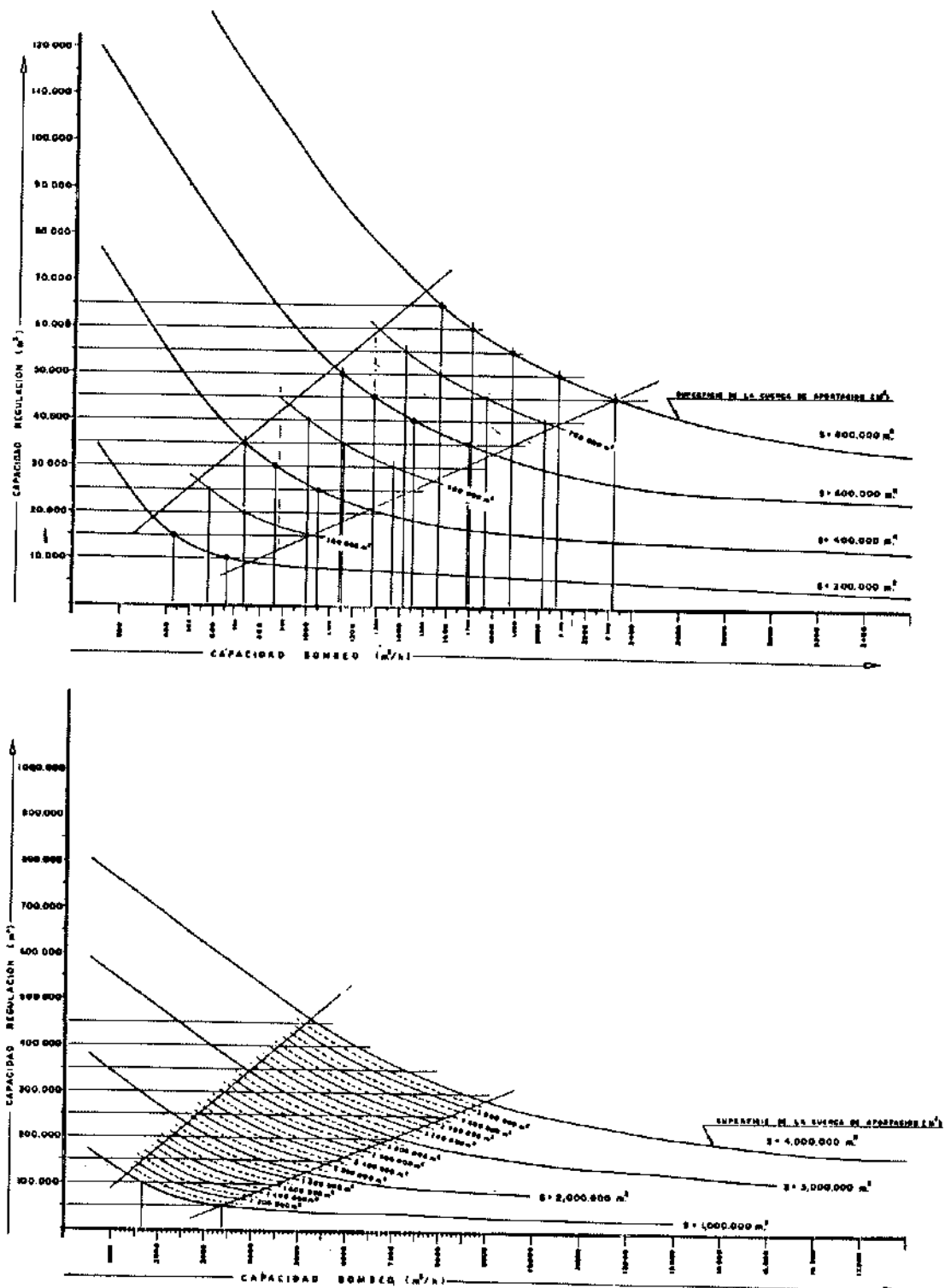


FIGURA 5 - ABACOS PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD DE REGULACION Y BOMBEO EN FUNCION DE LA SUPERFICIE DE LAS CUENCAS RECEPTORAS

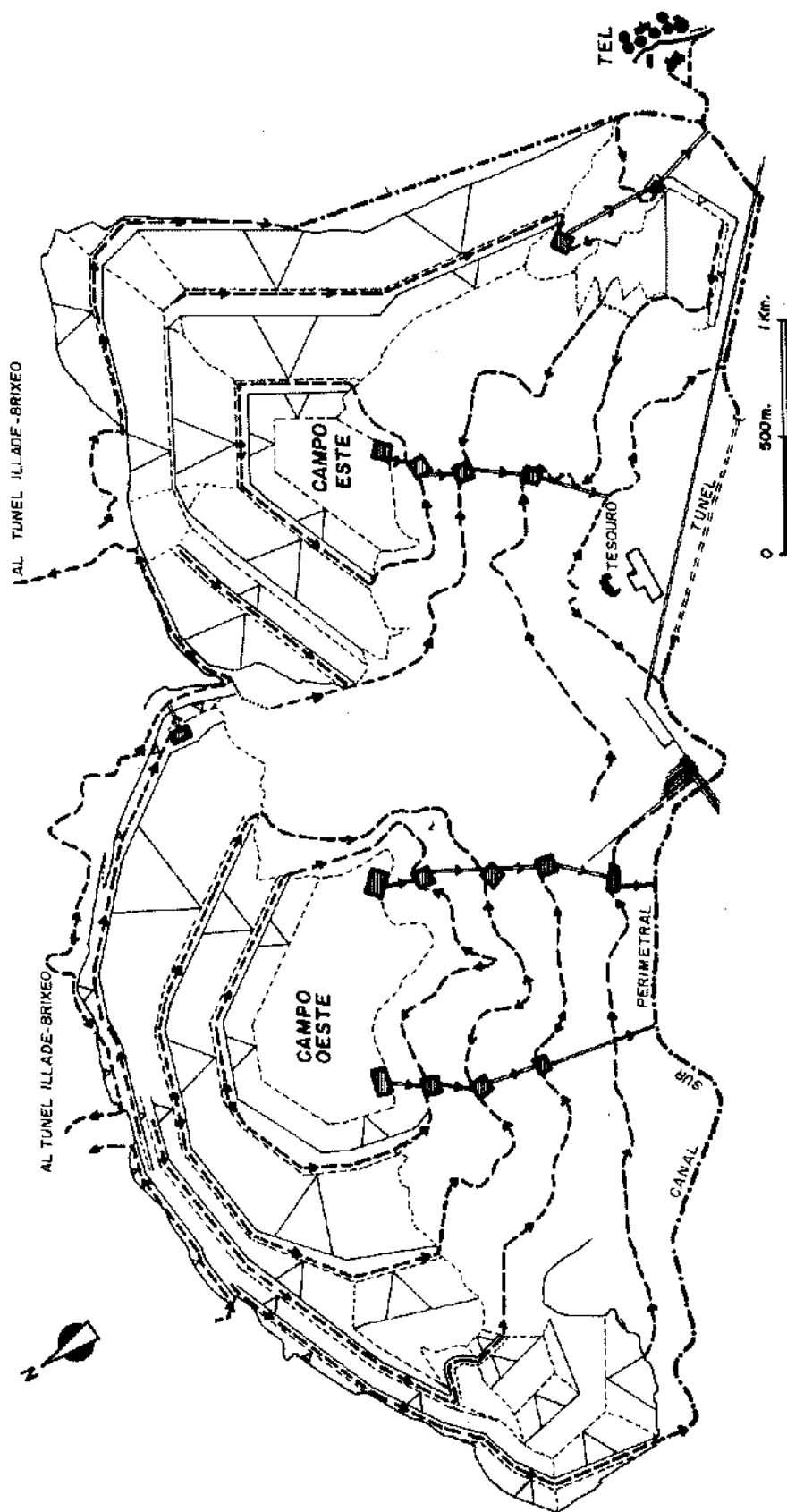


FIGURA 6 - DISEÑO DEL DRENAJE SUPERFICIAL DE LA MINA EN TALUDES FINALES.

En la Figura 6 se presenta el esquema de drenaje superficial para los taludes finales (canales, cunetas, depósitos e impulsiones). A continuación se exponen las características principales de dicho esquema:

CUADRO V

	CAMPO OESTE	CAMPO ESTE
SUPERFICIE TOTAL CUENCA RECEPTORA	6,54 km ²	5,48 km ²
Nº DE DEPOSITOS	10	6
CAPACIDAD DE REGULACION	635.000 m ³	375.000 m ³
CAPACIDAD DE BOMBEO	47.400 m ³ /h	33.000 m ³ /h
BOMBAS	12 Flygt-5250 4 Flygt-2400 10 horizontales 5 Worthington 16QL-21 5 Ceda	4 Flygt-5250 4 Flygt-2250 2 Flygt-2400 13 Horizontales

EL AGUA SUBTERRANEA

3.1. JUSTIFICACION CONCEPTUAL DEL DRENAJE SUBTERRANEO

En la Figura 7 se pone de manifiesto la variación de cúbico que en función de distintas inclinaciones de los taludes, resultaría para una geometría de excavación de dimensiones similares a los promedios del yacimiento, en sus bordes Norte y Este. Es suficientemente expresivo indicar que la variación de un grado en el entorno de las pendientes medias de la excavación actualmente prevista, supone una modificación de unos 22 Mm³ en el cúbico de excavación.

Aun cuando no se entre en detalles, las magnitudes y variaciones resultantes para la escombrera exterior son del mismo orden de magnitud y con leyes de variación incluso más desfavorables al ser las pendientes de los taludes más suaves.

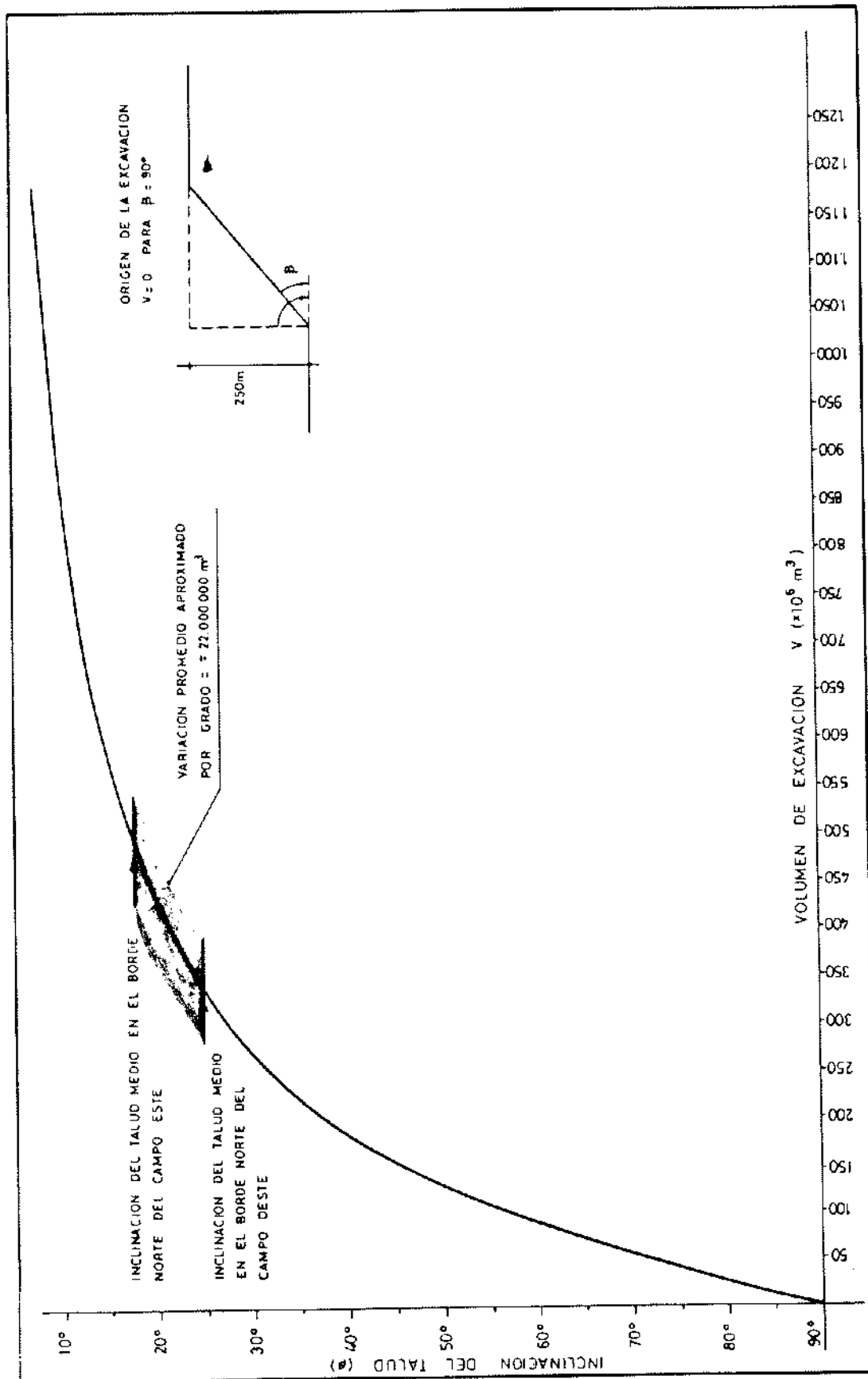


FIGURA 7 - VARIACION DEL VOLUMEN A EXCAVAR EN FUNCION DE LA INCLINACION DEL TALUD PARA UNA GEOMETRIA DE EXCAVACION DE 250 m. DE PROFUNDIDAD Y 5000 m. DE LONGITUD.

Como quiera que las condiciones de cálculo para el diseño de los taludes finales contemplan unas inclinaciones de talud suficientes para obtener coeficientes de seguridad medios del 1,50 incluyendo un drenaje subterráneo del orden del 30 % de la altura del talud, quiere ello decir que un descenso piezométrico permitirá, evidentemente, verticalizar los taludes aún más, con el consiguiente incremento de las reservas, todo ello dentro de unos límites que son impuestos por los parámetros geomecánicos y la estructura geológica.

Esta es la filosofía que justifica la implantación de un drenaje subterráneo generalizado en la explotación, lo que permitirá optimizar las geometrías finales en cada uno de los taludes.

3.2. DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS

Los aspectos hidrológicos principales del entorno quedan marcados por tres cuestiones básicas:

- Alta pluviometría, la cual asegura una importante recarga por infiltración.
- Baja permeabilidad de los materiales tanto terciarios como paleozoicos, que condiciona la drenabilidad del terreno.
- Marcada anisotropía hidráulica del macizo rocoso afectado por fracturación. La fase de investigación en la que se realizaron numerosos ensayos de bombeo, permitió conocer tanto la geometría y distribución de los acuíferos como caracterizar los parámetros dimensionales de los mismos, los cuales se describen a continuación:
- **Acuífero libre** - constituido por las rocas paleozoicas cuando afloran en superficie, es decir, se trata de los bordes de la cuenca. Sus parámetros son:

$$\begin{aligned} T &= 1 - 20 \text{ m}^2/\text{d} \\ S &= 10^{-2} - 10^{-3} \\ K &= 3,9 \cdot 10^{-6} - 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s} \end{aligned}$$

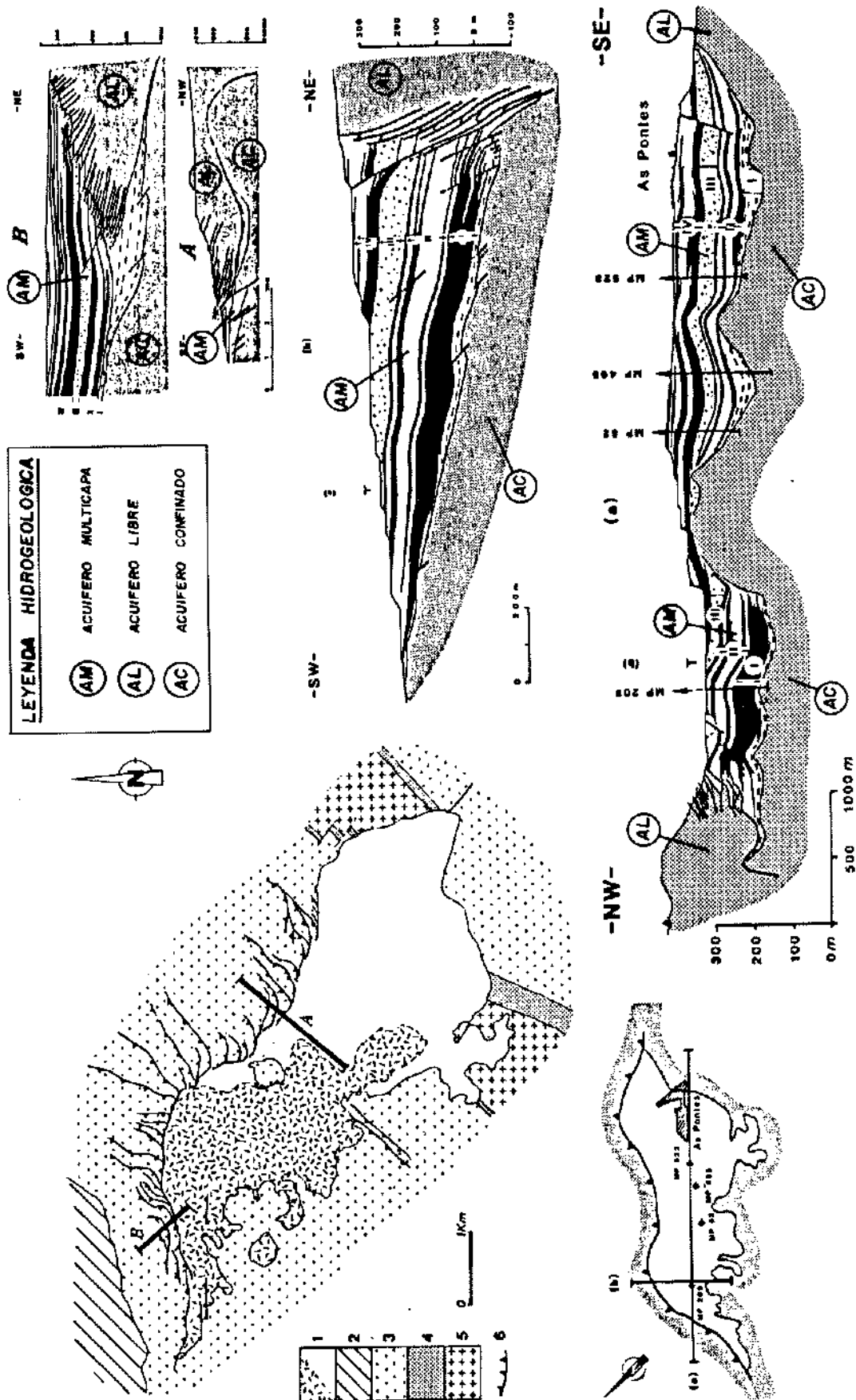
- **Acuífero confinado** - formado por los materiales paleozoicos cuando quedan soterrados por la serie sedimentaria terciaria. Igual que el anterior, la permeabilidad de este acuífero está desarrollada como consecuencia de la fracturación. Sus parámetros son:

$$\begin{aligned} T &= 1 - 5 \text{ m}^2/\text{d} \\ S &= 10^{-3} - 10^{-5} \\ K &= 3,9 \cdot 10^{-6} - 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s} \end{aligned}$$

- **Acuífero multicapa** - está formado por una serie de capas permeables (arenas) de la cuenca terciaria que permanecen confinadas por otras de naturaleza arcillosa. Sus parámetros medios son:

$$\begin{aligned} T &= 15 - 20 \text{ m}^2/\text{d} \\ S &= 5 \cdot 10^{-3} \\ K &= 5,8 \cdot 10^{-5} - 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s} \end{aligned}$$

Estos valores ofrecidos dan idea de las condiciones tan desfavorables que presenta el terreno para practicar el drenaje. En la Figura 8 se puede observar la disposición geométrica de cada uno de estos acuíferos y su relación con la estructura geológica del yacimiento.



3.3 LA IMPORTANCIA DE LA DISIPACION INTERSTICIAL EN MATERIALES IMPERMEABLES

El estudio de estabilidad de taludes realizado para el yacimiento, contempla la existencia de ciertas superficies de rotura desfavorables ligadas a las estructuras geológicas, tanto tectónicas como sedimentarias. Uno de los factores que posee mayor entidad a la hora de alcanzar factores de seguridad óptimos, consiste, en aquellas superficies de rotura, que discurren por capas impermeables, cuya respuesta piezométrica es muy lenta frente a las solicitudes del drenaje.

La incertidumbre sobre la drenabilidad de las arcillas, ha sido objeto de un minucioso seguimiento, para determinar el porcentaje, que es posible alcanzar en cada una de las geometrías previstas. La observación a lo largo de los años, permite asegurar hoy en día, que las arcillas son drenables mediante dos procesos que tienen lugar simultáneamente en la Mina. Uno de ellos consiste en la descarga litostática que genera la propia excavación, efecto éste que provoca una progresiva disipación. En segundo lugar, el drenaje de los materiales permeables, es decir, de los acuíferos a techo y muro de una capa arcillosa, originan una diferencia de presiones, que tienden a igualarse al cabo del tiempo. En este caso, la respuesta piezométrica efectiva de las arcillas, se traduce en disipar presiones, proceso de larga duración y que ha obligado a poner en práctica el bombeo con la antelación suficiente.

En la Figura 9, se presenta gráficamente, la evolución real, que está siguiendo la disipación intersticial, en las arcillas del Campo Oeste (9-B) y Este (9-A) respectivamente y cómo el drenaje se ve favorecido, por la puesta en marcha del bombeo subterráneo.

3.4. ESQUEMA DE DRENAJE SUBTERRANEO, SITUACION ACTUAL Y PREVISIONES PARA GEOMETRIAS FINALES

El criterio para dimensionar la red de drenaje subterráneo, está basado principalmente en los parámetros hidráulicos de los acuíferos y la observación piezométrica permanente, que será la que nos ofrezca, el grado de aproximación de dichos parámetros, a la realidad cuando se efectúa el bombeo.

Una vez establecida la simulación matemática del bombeo, y comprobada la validez de nuestro modelo, se dimensiona la red de captaciones que para cada acuífero tenga diferente equidistancia entre pozos:

En definitiva, los criterios para la disposición del drenaje resultan ser:

- **Acuífero libre** - pozos cada 150 metros de equidistancia y profundidades hasta alcanzar la cota del pie del talud.
- **Acuífero confinado** - pozos cada 400 metros, captan al menos 80-100 metros del sustrato paleozoico.
- **Acuífero multicapa** - pozos cada 400 metros, captando la totalidad de la serie terciaria.

En este último caso, debido a la necesidad de aminorar los asentamientos del terreno que provoca el bombeo en las proximidades del núcleo urbano de As Pontes, la equidistancia se ha reducido

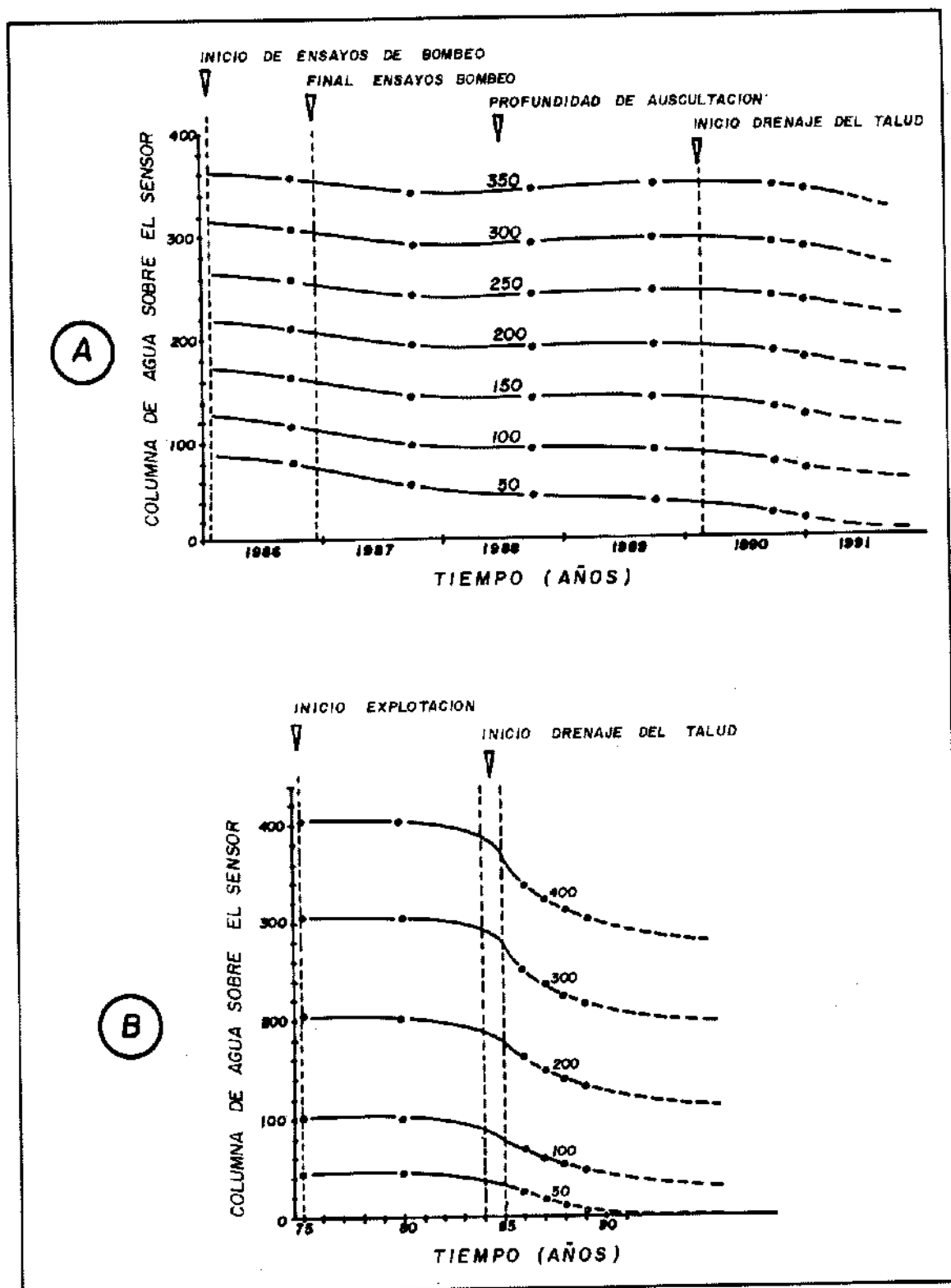


FIGURA 9 - DISIPACION DE PRESIONES INTERSTICIALES EN MATERIALES ARCILLOSOS EN RELACION CON EL DRENAJE SUBTERRANEO DE LA MINA.
(A-CAMPO ESTE , B- CAMPO OESTE)

a 200 metros para no generar conos de depresión acusados y, como consecuencia, asientos diferenciales importantes por ésta causa. Actualmente, el esquema de drenaje contempla 120 pozos mientras que para la geometría final de excavación está previsto un máximo de 250 aproximadamente. Este volumen de pozos, obliga a mantener una observación permanente de los resultados, lo cual se lleva a cabo con instrumentación piezométrica, de la cual se dispone de más de 1.300 puntos diferentes en toda la explotación.

EL AGUA Y EL MEDIO AMBIENTE

4.1. EL PROBLEMA DE LA CALIDAD DEL AGUA

El principal problema de una explotación minera, nace con la acidificación de las aguas que entran en contacto con el terreno, lo que en As Pontes se magnifica al ser una explotación a cielo abierto, con una gran superficie expuesta a las inclemencias del un clima extremadamente lluvioso.

El fenómeno de la acidificación, se produce cada vez que, de forma natural o autrópica, los materiales sulfurosos son expuestos a la acción del oxígeno, ya sea atmosférico o disuelto en agua. En esta circunstancias, dichos materiales, casi siempre en forma de pirita, se oxidan mediante mecanismos tanto químicos como biológicos hasta formar sulfatos. Los sulfatos a su vez pueden hidrolizarse en contacto con el agua apareciendo ácido sulfúrico libre.

Adicionalmente, las aguas, sean o no ácidas, suelen arrastrar cantidades importantes de sólidos en suspensión.

Con objeto de evitar o reducir los problemas derivados de los procesos descritos, se pueden practicar medidas correctoras que, o bien atacan las causas del problema o bien lo hacen sobre sus efectos. En el caso de As Pontes las medidas puestas en práctica, han sido las siguientes:

- Regeneración de taludes definitivos en mina y escombrera.
- Canalización y separación de aguas internas y externas a la explotación.
- Tratamiento específico de las aguas ya alteradas y que compendén procesos de neutralización, coagulación-floculación, y separación de precipitados y sólidos en suspensión.

Para dar una idea de las características del agua alterada por la explotación, en el Cuadro VI se presentan los valores de los parámetros más representativos.

CUADRO VI

MAGNITUD	UNIDAD	MAXIMO	NORMAL	MINIMO
Caudal	m ³ /s	30		0,3
pH			4	2,5
Acidez	meq/l	20		0,2
Sólidos susp.	mg/l	22.000	1.000	50
Cont. Fe. disu.	mg/l	12	3	
Cont. Mu. disu.	mg/l	6	1	
Cont. Al disu.	mg/l	9	2	

Hay que aclarar que la legislación española en el tema de vertidos industriales, establece los siguientes límites, sujetos al pago del menor canon de vertido posible:

CUADRO VII

Límite máximo de sólidos en suspensión	80 mg/l
Límite máximo de Fe disuelto	2 mg/l
Límite máximo de Mn disuelto	2 mg/l'
Límite máximo de Al disuelto	1 mg/l

4.2 DEPURACION AGUAS. PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS (TEL)

Después de conocer los datos ofrecidos en el apartado anterior, es evidente que era preciso acometer de forma integral, la solución del problema de las aguas ácidas de mina, toda vez que de no hacerlo y vertiéndolas directamente al río Eume, podrían afectar gravemente a un embalse de aguas abajo, así como al medio biológico y a determinadas poblaciones que se abastecen del mismo río.

Este planteamiento constituiría un ambicioso proyecto, dado que las mayores plantas de tratamiento de aguas ácidas de mina, existentes en Estados Unidos, no pasaban de una capacidad de tratamiento de 1 m³/s, mientras que en Europa se conocía la existencia de una planta, en una mina de lignito alemana, que llegaba a depurar hasta 10 m³/s. Un dato más para apreciar la magnitud del problema, lo representa la cifra de 24 m³/s que es el volumen de agua residual que trata una ciudad tan importante como París.

Para acometer el proyecto constructivo de una planta depuradora, ENDESA llevó a cabo una primera fase de investigación en laboratorio y, posteriormente tuvo lugar un ensayo a escala real en una planta piloto. A pesar de unos resultados prometedores en estas fases previas de investigación, ENDESA decidió hacer una campaña adicional, mediante una planta semi-industrial que confirmase los parámetros analizados previamente. Los resultados fueron realmente satisfactorios y las conclusiones principales se exponen a continuación:

- Se asumía que la velocidad de decantación podría llegar hasta 16 m/h obteniéndose agua limpia.
- Las dosis de polielectrolito necesarias fueron del orden de 0,3 a 0,6 mg/l.
- La concentración de lodo llegó a ser de 200 - 300 g/l, precisamente durante épocas de grandes avenidas. Estos lodos presentaban a su vez una gran facilidad para perder agua posteriormente.
- El decantador-espesador con circulación externa de fango, se mostró más efectivo que el de recirculación interna, tipo reactor-clarificador, y que en este último, la turbina fue incapaz de elevar pesadas partículas arcillosas.
- Se confirmó además, que no se necesitarían ni superficie de espesamiento adicional, ni instalación de secado. Simplemente con un embalse «de por vida» no excesivamente grande (5 Hm³), y una importante instalación de bomba quedaría resuelto el problema.

En base a estos resultados, ENDESA decidió contratar la ejecución del proyecto con las siguientes especificaciones:

- Para caudal de 15 - 30 m³/s, con un contenido máximo de sólidos de 11.800 mg/l.:

pH	7 - 8,7
Sólidos susp.	300 mg/l
Fe soluble (máx.)	0,1 mg/l
Fe total (máx.)	2 mg/l
Al total (máx.)	0,6 mg/l
Mn soluble (máx.)	1,3 mg/l

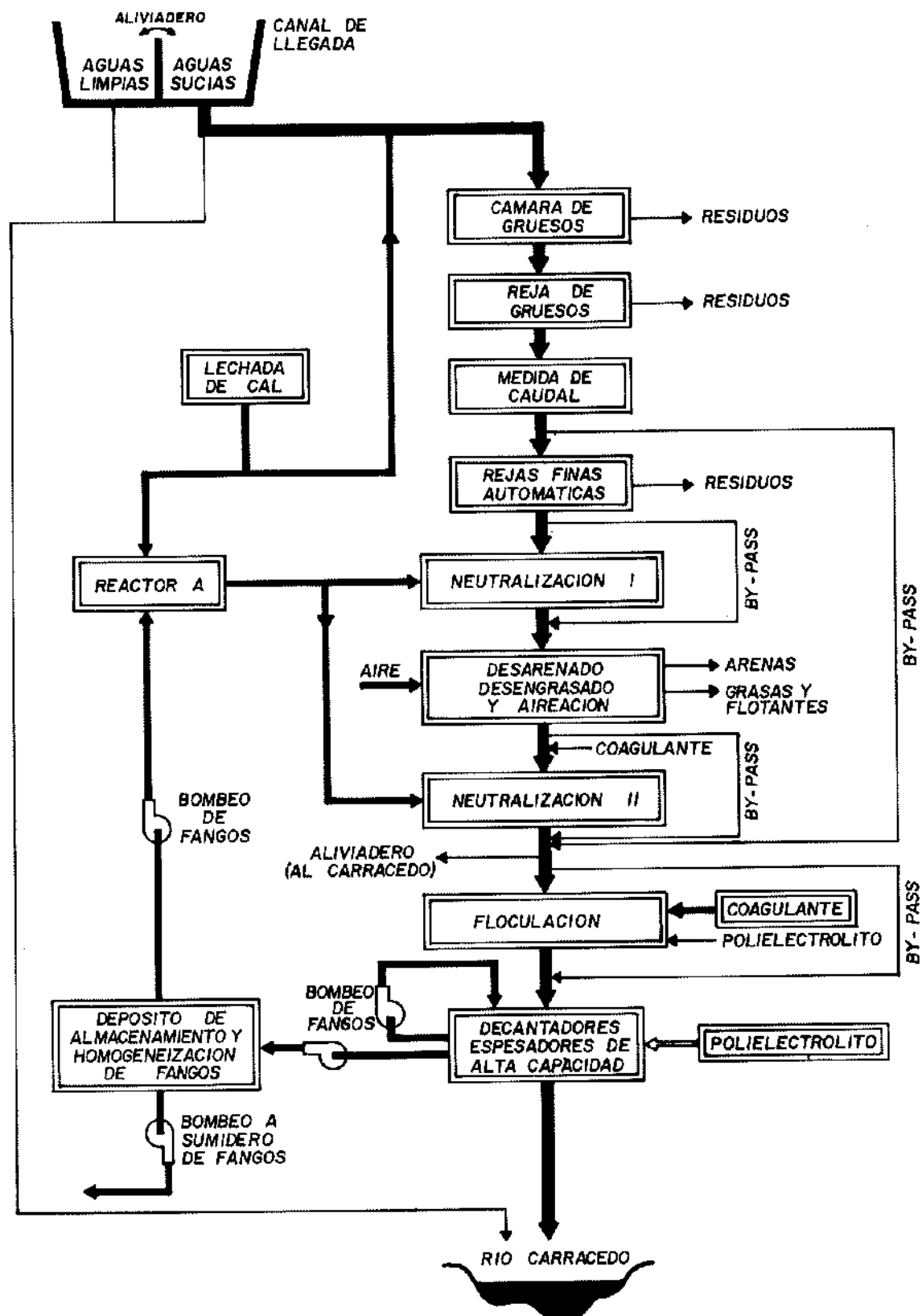


FIGURA 10 - DIAGRAMA DE PROCESO PLANTA TEL.

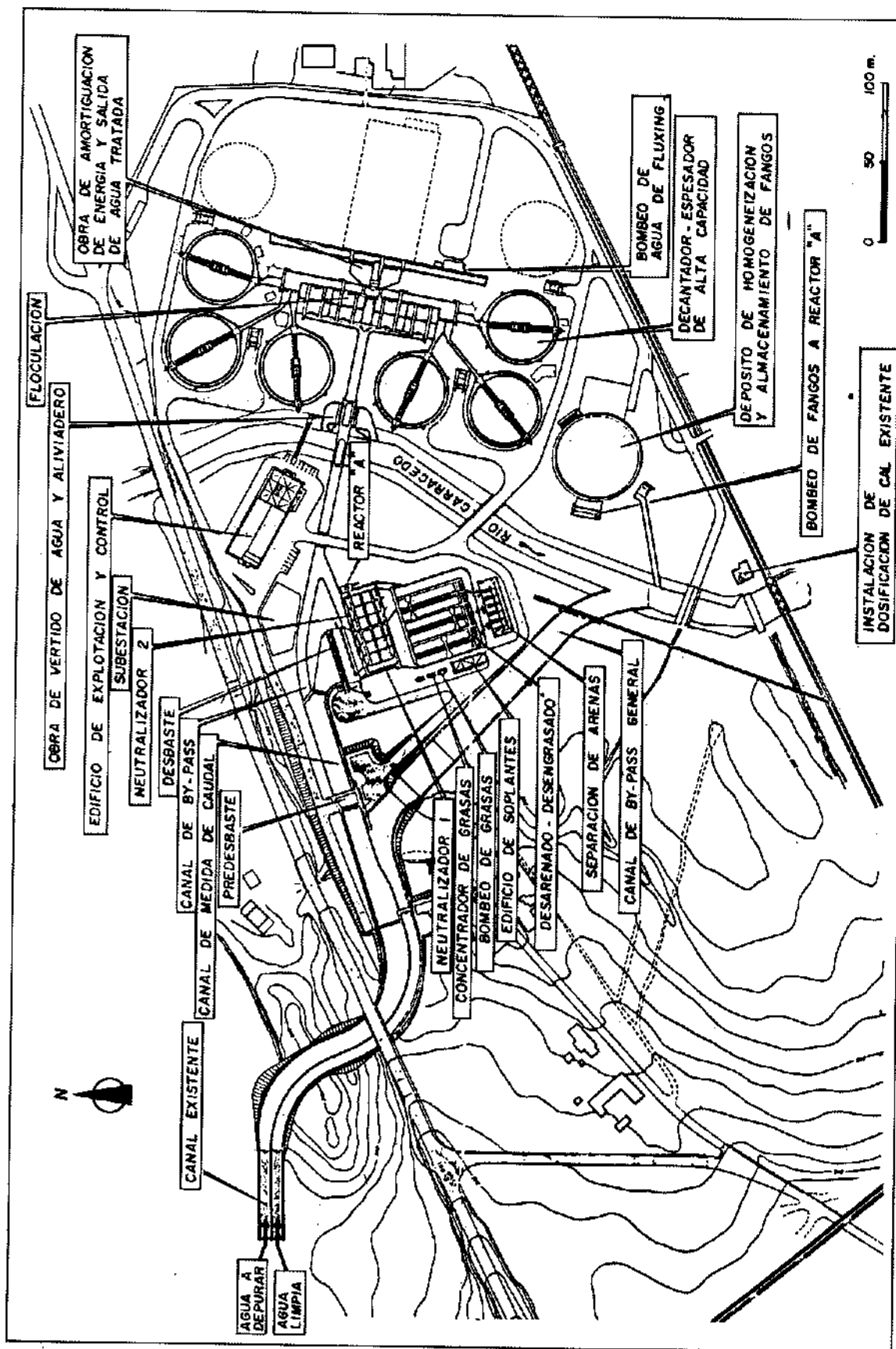


FIGURA II - VISTA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES LIQUIDOS (TEL).

Para un caudal de 0,3 - 15 m³/s con un contenido máximo de sólidos en suspensión de 22.000 mg/l:

pH	7- 8,7
Sólidos susp. (máx.)	30 m g/l
Fe soluble (máx.)	0,1 m g/l
Fe total (máx.)	1 m g/l
Al total (máx.)	0,6 m g/l
Mn soluble (máx.)	1,3 m g/l

El esquema de funcionamiento de la Planta TEL, finalmente construida, así como una vista general de la misma, se presentan en las Figuras 10 y 11.

Por otra parte fue necesario igualmente, la instalación del bombeo de fangos. La capacidad mínima es de 600 m³/h y la máxima de 6.400 m³/h para una concentración de 120 g/l, aunque está dimensionada para el bombeo de lodo con una concentración de hasta 300 g/l.

A pesar de algunas dificultades, hoy en día se ha hecho realidad la puesta en funcionamiento de la Planta TEL, la cual constituye un hito único en nuestro país en relación con la protección del medio hídrico.

La inversión económica realizada por ENDESA se eleva a 5.000 millones de pesetas (Planta, Bombes, Depósito de Fangos), mientras que el coste de explotación anual, asciende aproximadamente a 250 millones de pesetas (incluyendo coste de personal).

En un futuro, dicha planta seguirá funcionando a pleno rendimiento mientras la mina y la escombrera no reduzcan paulatinamente sus superficies de exposición a costa de la restauración vegetal que debe cubrirlas totalmente, momento en el que se reducirá drásticamente el volumen generado de aguas ácidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BACELAR, J. et al, 1988. La cuenca terciaria de As Pontes (La Coruña): Su desarrollo asociado a inflexiones contractivas de una falla direccional. II Congreso Geológico de España. Tomo Simposios. pp 113-121 Granada.

BENITEZ, A. 1989. Estudio del drenaje superficial de la Mina de As Pontes a situación final. Informe inédito de carácter reservado. ENDESA.

LOZANO, A. et al, 1991. Pore pressure development within low permeability soils and its incidence on slope configuration at the Puentes mine - La Coruña Spain. IV th International Mine Water Congress. Ljubiana (Yugoslavia).

RAMOS, J. 1990. Tratamiento de efluentes líquidos en el complejo Minero- Electric de Endesa - As Pontes. Informe inédito de carácter reservado. ENDESA.

RIVAS, F. et al. 1984. Drenaje superficial de la explotación a cielo abierto de Puentes de García Rodríguez (La Coruña). VII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. T 4, pp 195-200. Barcelona.

RODRIGO, L. J. et al. 1988. Resultados de la investigación de lignito de Puentes de García Rodríguez (La Coruña). Informe inédito de carácter reservado. ENDESA.

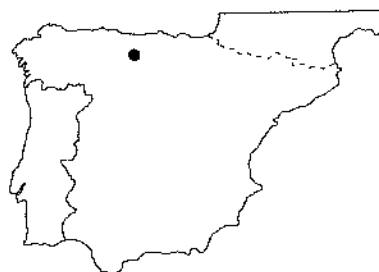
RODRIGO, L. J. et al. 1984. Significado de la Geotecnia-Hidrogeología en la explotación del yacimiento de lignito de Puentes de García Rodríguez. Informe inédito de carácter reservado. ENDESA.

EL AGUA Y LAS EXPLOTACIONES SUBTERRANEAS. MINA DE REOCIN

Ponentes:

D. César Piret Arias

D. Gil Fernández Alvarez



EL KARST DE LA MINA REOCIN: UN PROBLEMA HIDROLOGICO

Fernández, Gil; Reinoso, J.; Fernández, G.

INTRODUCCION

Uno de los mayores problemas con los que se enfrenta la minería de interior es la presencia de agua que pueda incidir en la rentabilidad de la explotación. En la Mina de Reocín no existen problemas de seguridad salvo los riesgos de inundación, aunque su incidencia económica es importante, ya que el desagüe representa el 20% del precio de coste de la Tm. de todo-uno de la mina de interior. El incremento de la producción ha absorbido el aumento de los costes experimentado en los últimos años, manteniéndose este porcentaje.

Al hacerse cargo, en 1981, ASTURIANA DE ZINC S.A. de la Mina de Reocín, consideró prioritario el estudio del problema hidrológico. Se encargó la dirección de los trabajos al Prof. Fernández Rubio, quien ya había colaborado con REAL COMPAÑIA DE MINAS en estudios anteriores. Todos los trabajos llevados a cabo bajo la dirección del Prof. Fernández Rubio han quedado reflejados en varios magníficos informes de carácter particular.

Siguiendo un orden cronológico, vamos a describir, resumiéndolos, los trabajos realizados, resultados obtenidos y situación actual del problema en la Mina de Reocín, afectada por un aparato Kárstico, con un aporte de agua de 1.100 a 1.200 l/seg, a una profundidad de 272 m. bajo el nivel del mar, necesitándose un bombeo de 330 m. de altura. La explotación continuará en profundidad, llegando a la cota -350 m., lo que supondrá una altura de bombeo de 408 m.

HISTORIA

La Mina de Reocín inició sus trabajos en 1856, con la REAL COMPAÑIA ASTURIANA DE MINAS, que explotaba los afloramientos de calaminas del yacimiento. Agotada la parte superficial mediante una corta a cielo abierto denominada "Zanjón", se continuó la explotación en profundidad por cámaras y pilares, accediendo a las labores por medio de planos inclinados. A medida que se profundizaba, las calaminas fueron pasando a sulfuros, modificándose la tecnología de tratamiento, siendo Reocín la primera mina de Europa en instalar, en 1927, un lavadero de flotación diferencial.

En 1936 se inauguró el Pozo Santa Amelia que permitió alcanzar la cota de -200 m. y explotar la parte central del yacimiento, con tres capas de muy alta ley. Posteriormente la explotación se ha extendido lateralmente y en profundidad aumentando el área de drenaje y, por consiguiente el caudal de extracción.

SITUACION GEOGRAFICA. ASPECTOS CLIMATICOS E HIDROGRAFIA

La mina de Reocín se encuentra situada en la Comunidad Autónoma de Cantabria, 6 km. al Oeste de Torrelavega y a 30 km. de Santander. (Fig. nº 1)

Cantabria presenta un clima atlántico, con veranos e inviernos suaves, humedad alta y precipitaciones anuales medias de 1.200 mm./año. La zona costera, de topografía suave, unido a una lluvia repartida a lo largo del año, produce una fuerte infiltración, a través de una Karst muy desarrollado sobre las rocas calcáreas mesozoicas.

Con los datos de las estaciones meteorológicas más próximas a Reocín (Torrelavega, Torrelavega-Colegio, Torrelavega-Sniace) y de la propia mina (instalada desde 1981), se ha podido determinar que la precipitación media anual en Torrelavega es de 1.152 mm. (datos de un periodo de 41 años, desde 1951 a 1991), con valores extremos de 587 mm. para el año más seco (1963-64) y de 1.926 mm. para el año más húmedo (1987) (Fig. 4-C).

Los datos de temperatura para el mismo periodo de tiempos correspondientes a la estación de Torrelavega, dan una media anual de 13,8°C, con medias máximas de 19,1°C y mínimas de 11,5°C.

GEOLOGIA

La mina de Reocín, situada en el flanco SW del Sinclinal de Santillana del Mar (estructura de origen alpino), es un yacimiento estratiforme, de blenda, galena y marcasita encajado en dolomías ankeríticas de edad Gargasiense (Aptiense Superior). El Gargasiense está compuesto por una formación calcárea bioclástica (casi totalmente dolomitizada en la mina), con potencia de dolomitización. El muro del yacimiento se encuentra marcado por una dolomía margosa, tránsito de la caliza margosa de edad Bedouliense (Aptiense Inferior) al Gargasiense (Aptiense Superior).

A techo del Aptiense Superior (encajante de la mineralización), la serie estratigráfica continúa con un Albiense de naturaleza margo-arcillosa, con bancos detríticos y carbonatados, de unos 100 m. de potencia, seguida del Cenomaniense con una secuencia rítmica detrítico-calcárea.

El yacimiento tiene una dirección N-60-70° y sus dimensiones son 3.500 m x 800 m. aproximadamente, con una potencia mineralizada que oscila entre 2 y 40 m, y un buzamiento medio de 23° N.

Dadas las características del yacimiento se puede dividir en tres zonas: (Fig. 2).

- 1- ZONA CENTRO:** Comprende tres niveles mineralizados denominados Capa Sur, Capa Norte y Tercera Capa, con potencias variables entre 2 y 10 m. En conjunto, están situados dentro de los 40 m. inferiores del paquete dolomítico gargasiense, formando una unidad mineralizada de 500 x 700 m y 40-45 m de potencia con mineralizaciones estratoides separadas por bancos estériles de arrecifes biostrómicos dolomitizados. (Fig. 2.2.).

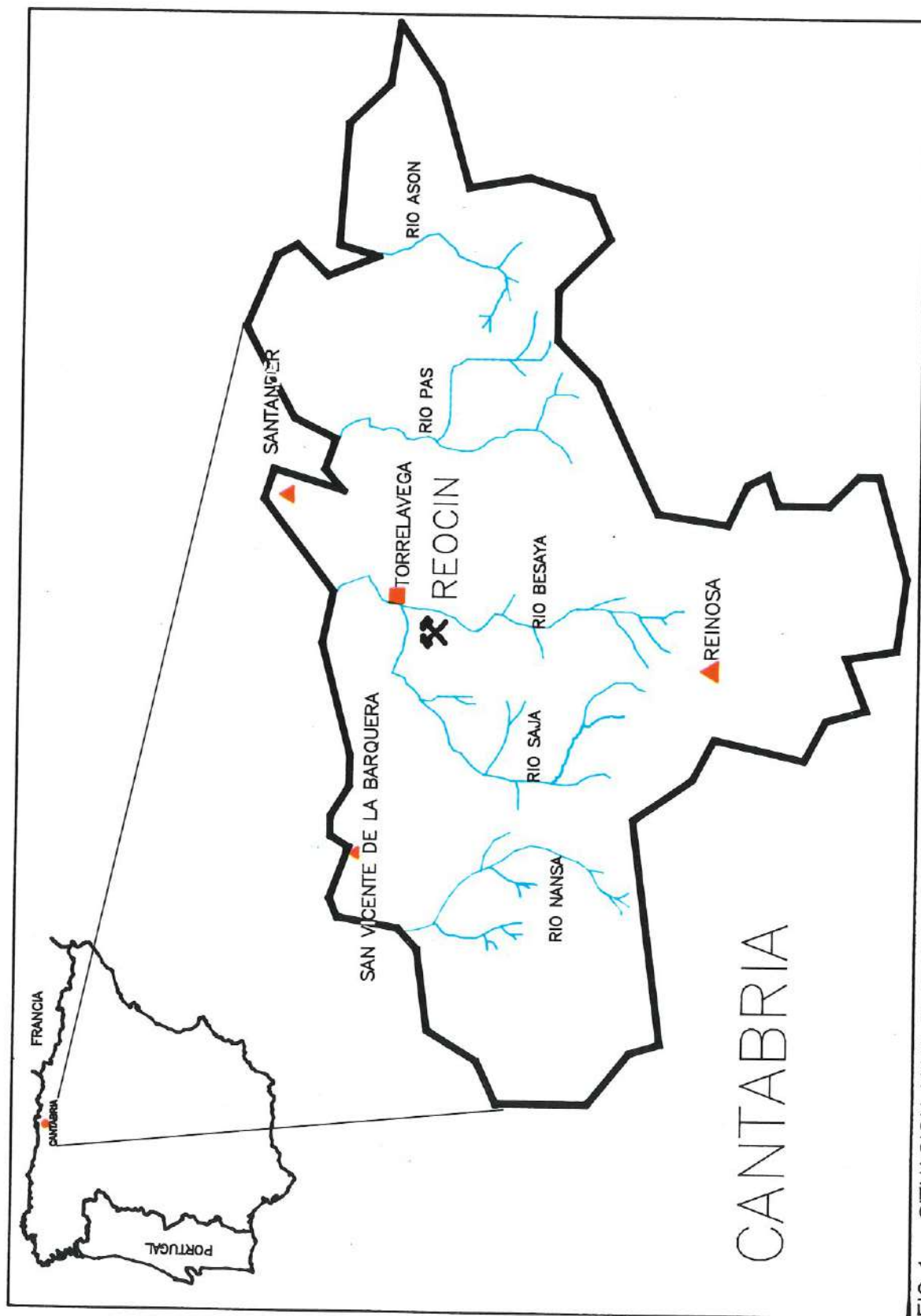


FIG. 1.- SITUACION MINA REOCIN. PRINCIPALES RIOS DE CANTABRIA.

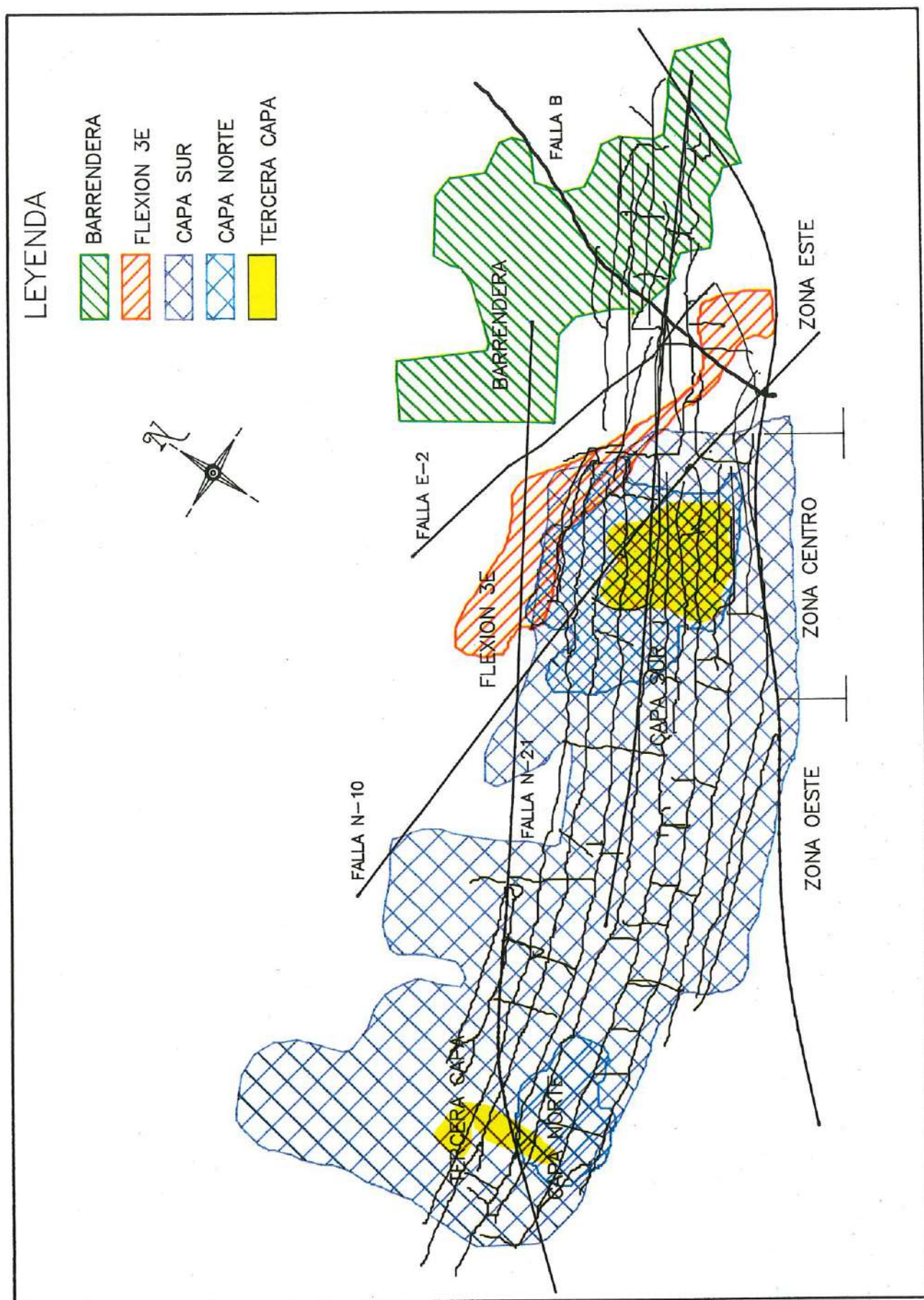


FIG.2.- MORFOLOGIA Y FALLAS DE LA MINA DE REOCIN.

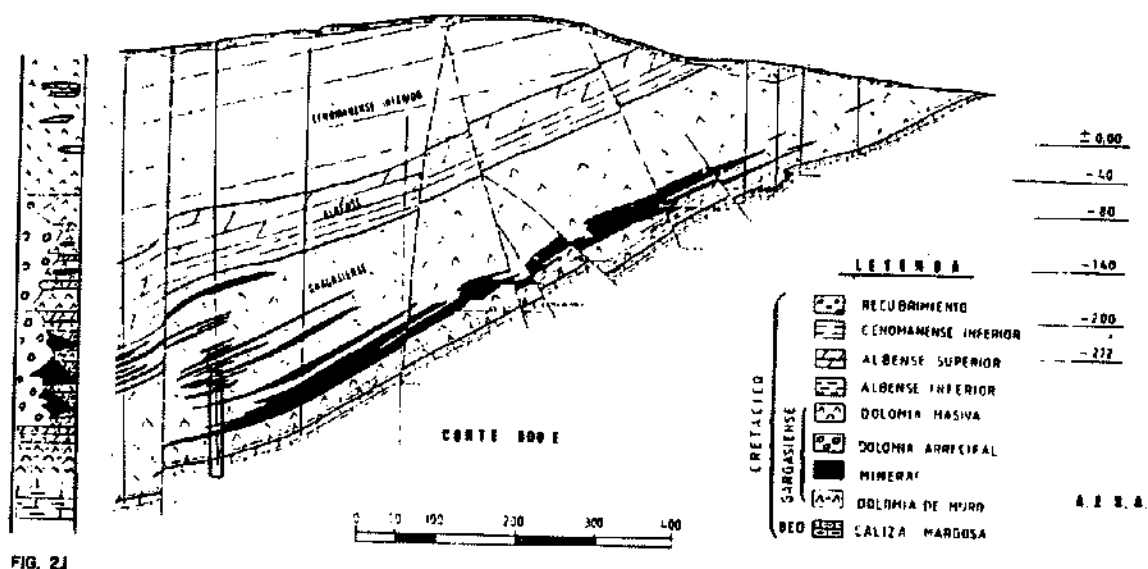


FIG. 21

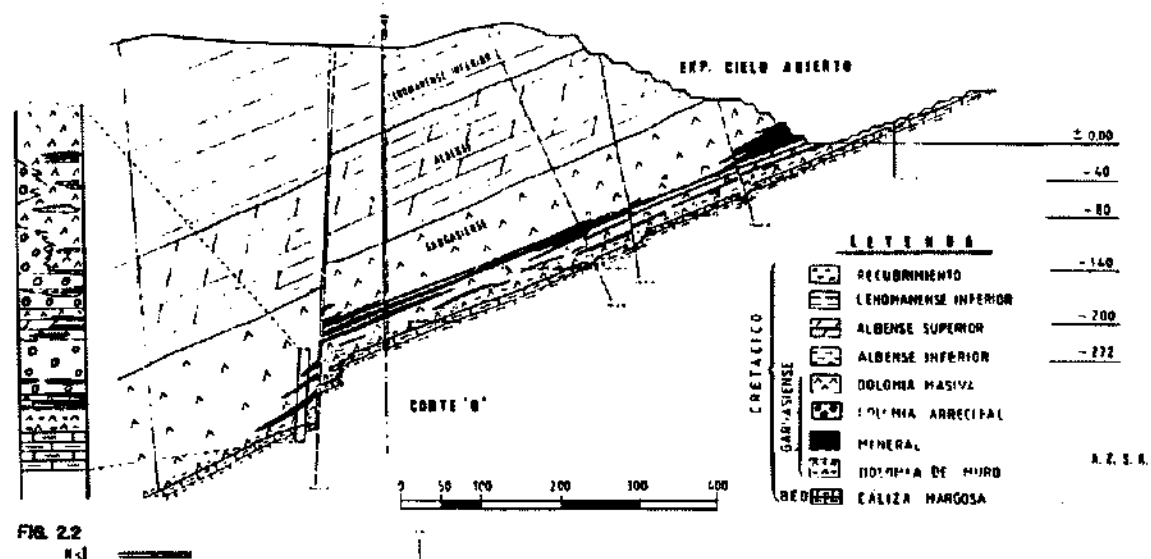


FIG. 22

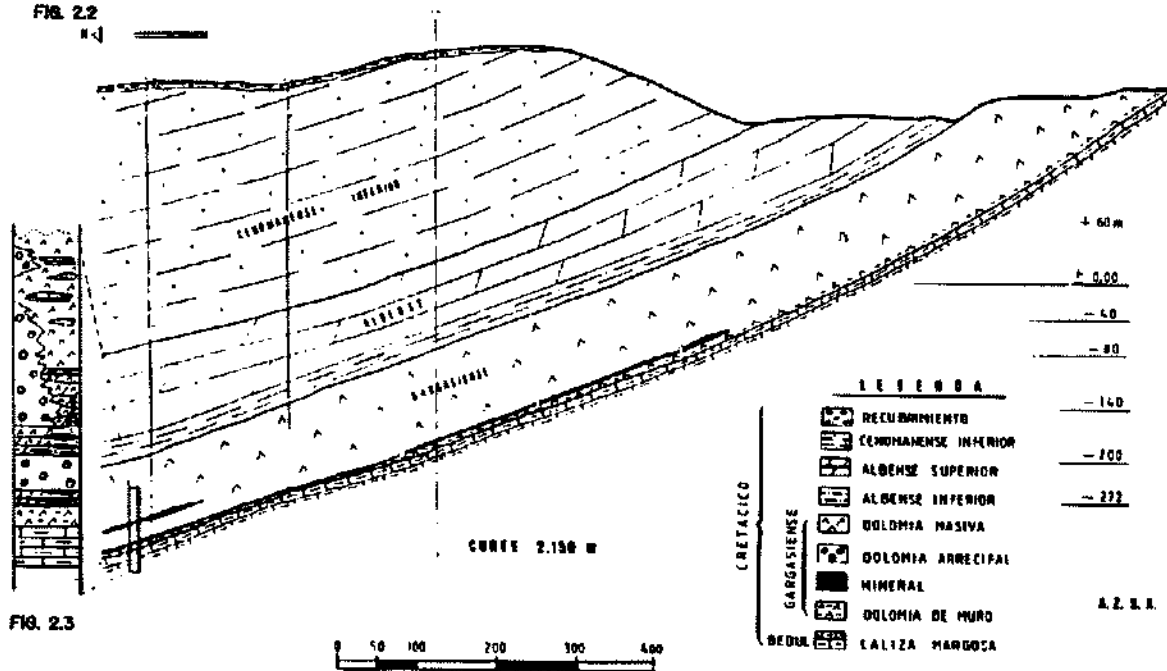


FIG. 23

2- ZONA OESTE: Una sola "capa" mineralizada estratiforme y continua de unos 1800 m de longitud denominada "Capa Sur". Esta "capa" se encuentra en el muro de la dolomía gargasiense que en esta zona alcanza una potencia de 70-80 m., estando superpuesta a la "dolomía de muro" y separada de ésta por una salbanda marga-arcillosa milimétrica en ocasiones mineralizada. (Fig. 2.3).

3- ZONA ESTE: Esta zona presenta características sedimentarias y morfológicas distintas a las anteriores: Fig. 2.1.).

- 1- La potencia del gargasiense dolomítico aumenta considerablemente (200-300 m.), con aparición de lentejones calizos.
- 2- Se trata de una mineralización irregular, lenticular, estratoide, rellenando huecos de brechas y escombros arrecifales, en las que la blenda aparece diseminada o en los bordes de brechas dolomíticas.
- 3- Los lentejones mineralizados están situados de 10 a 20 m. por encima de la dolomía de muro, y con potencias entre 2 y 40 m. y separaciones variables entre ellos.
- 4- La dolomía de muro es más potente que en las otras zonas (10-12 m. frente a 7-8 m) y no existe salbanda arcillosa en contacto con la mineralización.

Existe una cuarta zona, denominada por J. B. SANCHEZ (1976) FLEXION 3E, definida como una estructura E-0, muy karstificada, que apareció en la explotación a cielo abierto y continuó en profundidad con mineralización secundaria de origen kárstico.

La mineralización primaria del yacimiento está constituida por Blenda (SZn), Galena (SPb), Pirita-Marcasita (SFe), mena encajada en una ganga de dolomías con dolomita, calcita y ankerita; y una mineralización secundaria de Smithsonita (CO_3Zn), Cerusita (CO_2Pb), Goethita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Melanterita ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y Epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), que predominaban en los afloramientos de la mina.

KARSTIFICACION

La mina de Reocín se encuentra ligada a un importante aparato kárstico que le aporta el drenaje de una extensa cuenca (66 km²), con un caudal en aumento a medida que la explotación se va extendiendo y profundizando.

La karstificación, como proceso generador de cavidades y conductos, se manifiesta en las labores mineras con cavidades de desarrollo paralelo a la estratificación y de tamaños variables (centimétricos-métricos). Aparece en todas las zonas de la mina y se inició en el tránsito Aptiense-Albiense, época regresiva que dejó expuesta a condiciones subaéreas el continente albiense emergido, observándose actualmente en la explotación a Cielo Abierto una superficie erosiva, con presencia de paleosuelos. La explotación de la mina produce el abatimiento del nivel piezométrico y la penetración del agua del río Saja hasta los niveles más profundos. De la zona Oeste de la mina a la zona Este, la karstificación varía notablemente. En la primera el aparato kárstico está menos desarrollado, pero la circulación por él es mayor debido a su proximidad al río, mientras que en la zona Este existe un mayor desarrollo kárstico, con menos circulación actual.

El agua circula en la zona Oeste por dos vías: una por el contacto superior del Bedouliense, entre la dolomía mineralizada, y otra por la parte superior de la dolomía gargasiense en el contacto Albiense detrítico, con fisuras verticales que unen ambos acuíferos. En la zona Este el aparato kárstico ha originado una mineralización secundaria de removilización, de difícil explotabilidad debido a esta karstificación. Muchas de las cavidades originadas por el karst aparecen tapizadas de cristales de dolomita, con pirita y marcasita, todo ello de deposición subacuática. En el Aptiense Superior hay tanto una circulación a través de poros, consecuencia de la dolomitización, como a favor de conductos y canales producto de la karstificación. El Aptiense Inferior (calizas margosas) debido a su naturaleza, tiene un comportamiento originalmente impermeable, si bien las fracturas que lo afectan originan una conexión hidráulica con el Aptiense Superior.

Las causas de un mayor desarrollo de la karstificación en la zona Este se deben a la existencia de una alta porosidad arrecifal biohérmica, una elevada permeabilidad por fracturación y fallas que originan una alta interconexión hidráulica. En la parte Oeste, el desarrollo de arrecifes biostrómic masivos ha originado que la karstificación sólo fuera posible a favor del diaclasamiento.

EVOLUCION DEL PROBLEMA

Los trabajos realizados sobre el agua, anteriores a 1981, consistían en un seguimiento del caudal bombeado (consumo de energía eléctrica de las bombas), estudios sobre potabilidad de las aguas en los distintos niveles de la mina y en el exterior una vez recorrida la explotación (R. Anton, 1967). El estudio realizado por López Vera, C.F. et al (1978) en la explotación de Reocín llega a la conclusión de que el origen principal del agua bombeada debe estar en infiltraciones procedentes de los ríos Saja y Besaya. Para comprobar esta hipótesis Trilla Arrufat, J. et al (1978) analizan la existencia de TRITIO atmosférico en el agua de las surgencias de las galerías de la mina, afirmando que el contenido geoquímico e isotópico de estas aguas indica que la infiltración es directa, tanto del agua de lluvia como de los ríos Saja y Besaya.

Otro intento de comprobar la procedencia de las aguas de la mina, fue el llevado a cabo por R. ROUCH y N. GOURBAULT mediante filtrado de aguas y obtención de materiales y fauna microscópica. Las muestras recogidas en el Nivel 21 tenían contenido en arena, materia vegetal carbonosa, restos de hojas, polen, esporas y restos de madera actual semejantes a los materiales obtenidos en el lecho del río Saja. La obtención de gran cantidad de arena, limos y detritus vegetales, junto con fauna fundamentalmente terrestre, de suelo húmedo, llevó a estos autores a la conclusión de que el agua del Oeste de la mina provenía del río Saja, mientras que la del sector de Barrendera (zona Este de la mina) tenía un origen claro en la infiltración directa de agua de lluvia. Sin embargo todas las conclusiones sobre la procedencia del agua eran solamente suposiciones.

De los estudios realizados por el Profesor Fernández Rubio con anterioridad a 1981, se obtuvieron las siguientes hipótesis:

- 1) El aporte principal de agua en la mina provenía de la zona Oeste, cuantificándola en un 90%.

- 2) Del total de agua drenada podía considerarse que de un 10 a un 15% correspondía a agua profunda, aportada a través de fallas.
- 3) El aporte principal (70-80%) serían aguas procedentes del río Saja (infiltrándose desde el sector BARCENACIONES - SAN ESTEBAN como consecuencia del bombeo de la mina). Agua de buena calidad para todos los usos.
- 4) La circulación del agua de Reocín se realizaría a través de cavidades kársticas existentes en el Aptiense Superior calizo-dolomítico.
- 5) El aumento de caudal fluente a la mina, al extenderse las labores tanto en profundidad como lateralmente tendría como consecuencia el aumento del gradiente hidráulico río-mina. (Fig. 4D).

A partir de 1981, fecha en la que ASTURIANA DE ZINC S.A. se hizo cargo de la mina, se inició una extensa campaña de investigación con objeto de :

- A) CONOCER DE FORMA DEFINITIVA LA PROCEDENCIA DE LAS AGUAS Y SUS CAUCES DE CIRCULACION.
- B) TRATAR DE ELIMINAR LA MAYOR PARTE DEL AGUA ANTES DE SU LLEGADA A LA MINA.
- C) REDUCIR EL COSTO DEL BOMBEO.

Los trabajos realizados para cumplir con estos objetivos se exponen en el apartado siguiente.

TRABAJOS REALIZADOS

Con los objetivos anteriormente expuestos se inició una extensa campaña de investigación sobre el agua surgente en la mina, bajo la supervisión del Profesor Rafael Fernández Rubio.

7.1. Conexión hidráulica

Los estudios realizados por Trilla Arrufat, J. et al (1978), sobre concentraciones de Tritio atmosférico en muestras obtenidas del río Saja y de las surgencias en las galerías, mantenían la hipótesis de que el agua de estas surgencias provenía del río Saja.

En 1983 ASTURIANA DE ZINC S.A. contrata al "Servicio de aplicaciones nucleares del Centro de estudios y experimentación del Ministerio de Obras Públicas", para realizar un estudio isotópico sobre el origen de las infiltraciones de agua en Reocín. (BAONZA, E. et al 1983).

Estos estudios estaban basados en la medida de Oxígeno-18, y Tritio contenido en las aguas, así como isótopos radioactivos artificiales (IODO 131, y TRITIO) como trazadores. El objetivo esencial era comprobar que, efectivamente, el origen de gran parte del agua surgente en la mina de Reocín provenía del río Saja. Si esto era cierto, el segundo paso consistiría en evaluar la pérdida de caudal del río por infiltración, en el tramo de calizas gargasienses karstificadas, mediante aforos con ¹³¹I. Este trazador (junto con TRITIO) también se empleó para comprobar la interconexión

del río con las surgencias de agua en las galerías de la mina, y entre piezómetros y entradas de agua en la mina.

7.1.1. Origen de las surgencias.

Las muestras para determinar el ^{18}O fueron tomadas del río Saja, de las surgencias de galerías y de piezómetros. El método se basa en calcular el contenido en ^{18}O , medido como ^{18}O "desviación isotópica", con respecto a un patrón internacional de agua del mar conocido con las siglas de S.M.O.W. ("STANDARD MEAN OCEAN WATER"). Las determinaciones se hicieron con un error del orden de $\pm 0,02\%$. Las muestras del río Saja dieron un valor medio de ^{18}O de $-0,783\%$ (eliminando una que podía ser anómala), y las de las surgencias de las galerías llegan a un promedio de $-0,788\%$, sobre nueve muestras de los niveles 20 y 21, que totalizan más del 90% del agua que aflora en la mina y corresponden a las aguas con conductividad y composición química semejante a la del río Saja.

Los resultados son coherentes con la hipótesis establecida por otros autores referidas a que la mayor parte del agua que se bombea en la mina, procede del río Saja.

7.1.2. Pérdida de caudal del río Saja:

Al verificar que, efectivamente, gran parte del agua bombeada en la mina procedía del río Saja, resultaba interesante comprobar si este río experimentaba o no una pérdida de caudal a su paso por las calizas gargasienses en la zona del puente de Golbardo.

Para ello se programó la realización de dos aforos aguas abajo y aguas arriba del afloramiento calizo. El método elegido para el aforo fue el basado en la inyección de un trazador radiactivo a caudal constante, utilizándose aproximadamente 1,4 curios de ^{131}I , disueltos en una botella de unos 100 litros de agua. Las tomas de muestras se realizaron a más de 2 km. aguas abajo de los puntos de inyección, garantizando con esta distancia la buena mezcla del trazador en las aguas del río.

Después de hacer un muestreo comparativo entre los dos aforos se llegó a la conclusión de que no se producían pérdidas significativas de caudal en tramo correspondiente al afloramiento calizo del puente de Golbardo, cuando el caudal del río era superior a $9\text{m}^3/\text{sg}$. Sin embargo se comprobó que, en épocas de sequía, el agua que lleva el río desaparece totalmente en su cauce frente a la estación de San Pedro de Rudagüera.

La explicación de estos hechos era la existencia de aportes de agua al río, en el tramo considerado, en épocas de pluviometría normal, cosa que no ocurría en épocas de sequía.

7.1.3. Interconexión entre el río Saja y las surgencias de las galerías:

Se hicieron ensayos primero ^{131}I , inyectándolo en el punto de aforo aguas arriba anteriormente descrito, con una actividad de 450 milicurios. Un segundo ensayo se realizó inyectando 250 milicurios. En ambos casos se acompañó el ^{131}I . Los resultados fueron negativos: no se detectó el trazador en las galerías de la mina durante los 40 días que duró el muestreo; la causa más probable fue que el tiempo que tarda en llegar el agua del río a la mina es mayor que el tiempo de desintegración de ^{131}I ; para comprobar esto se decidió el empleo de TRITIO como trazador. En

Abril de 1983 se realizó una inyección de 3,5 curios de tritio, en forma de agua tritiada, en un sumidero de la margen derecha del río en Barcenaciones. El muestreo se realizó además de en las surgencias de las galerías de la mina, en el río Saja a su paso por Puente San Miguel para comprobar si existía alguna salida aguas abajo, con resultado negativo. El control de la salida de tritio por las surgencias de las galerías de la mina se inició al octavo día después de la inyección, ya que, de haberse producido la salida con anterioridad a ese día, se hubiera detectado en el estudio con ^{131}I .

Se recogieron muestras tanto del nivel 20 como del nivel 21, con una frecuencia de dos muestras/día en el momento inicial, hasta una por semana durante 80 días. Las medidas se hicieron en forma directa, con un detector de centelleo líquido, y una vez por semana se sometía a un proceso de concentración electrolítica.

Los resultados fueron positivos a los 21 días desde la inyección del tritio detectándose en el nivel 21, alcanzando la concentración máxima aproximadamente a los 60 días y, a partir de entonces, comenzó a disminuir. (Fig. 5).

El tiempo medio de permanencia del tritio en el subsuelo puede variar entre 65 y 100 días. En base a este tiempo y considerando un caudal medio de surgencia de 995 l/sg, se estimó el volumen de agua del acuífero que participa del flujo existente entre el sumidero del río Saja y la mina entre 5,6 y 8,6 millones de m^3 . Al nivel 20 la llegada de tritio se produjo con un retraso de unos pocos días con respecto al nivel 21, y la concentración aumentó con el tiempo, de forma mucho más lenta.

El resultado fué que se comprobó que el agua que aflora por las galerías de la mina procede, en su mayor parte, del río Saja. Sólo las surgencias del Este parecen proceder de precipitaciones de lluvia.

7.1.4. Interconexión entre Piezómetros y surgencias:

Otro ensayo que se realizó para comprobar la interconexión río Saja-Mina fue inyectar ^{131}I mezclado con IK inactivo en el interior de dos piezómetros. Se realizaron tres experiencias y los resultados fueron negativos. En las dos primeras las inyecciones de yoduro potásico se realizaron en el piezómetro P-IN, en cantidades de 10 y 40kg. respectivamente, no llegando a detectarse en las surgencias de la mina, probablemente debido a que la sensibilidad del método de análisis empleado no fue suficiente. La tercera experiencia fue inyectar 250 milicurios de ^{131}I en el piezómetro P-5W, cuyos resultados (tras 18 días de espera) también fueron negativos, probablemente porque el trazador no hubiese alcanzado las vías de flujo preferenciales hacia la mina. En todos los casos, la inyección del trazador estuvo seguida de la inyección de varios metros cúbicos de agua, para facilitar el desplazamiento inicial.

7.2. ESTUDIOS PIEZOMETRICOS

Con el objeto de conocer el nivel piezométrico entre el río Saja y la Mina, así como su evolución con el aumento de las labores mineras se realizaron 12 sondeos piezométricos (Fig. 3)

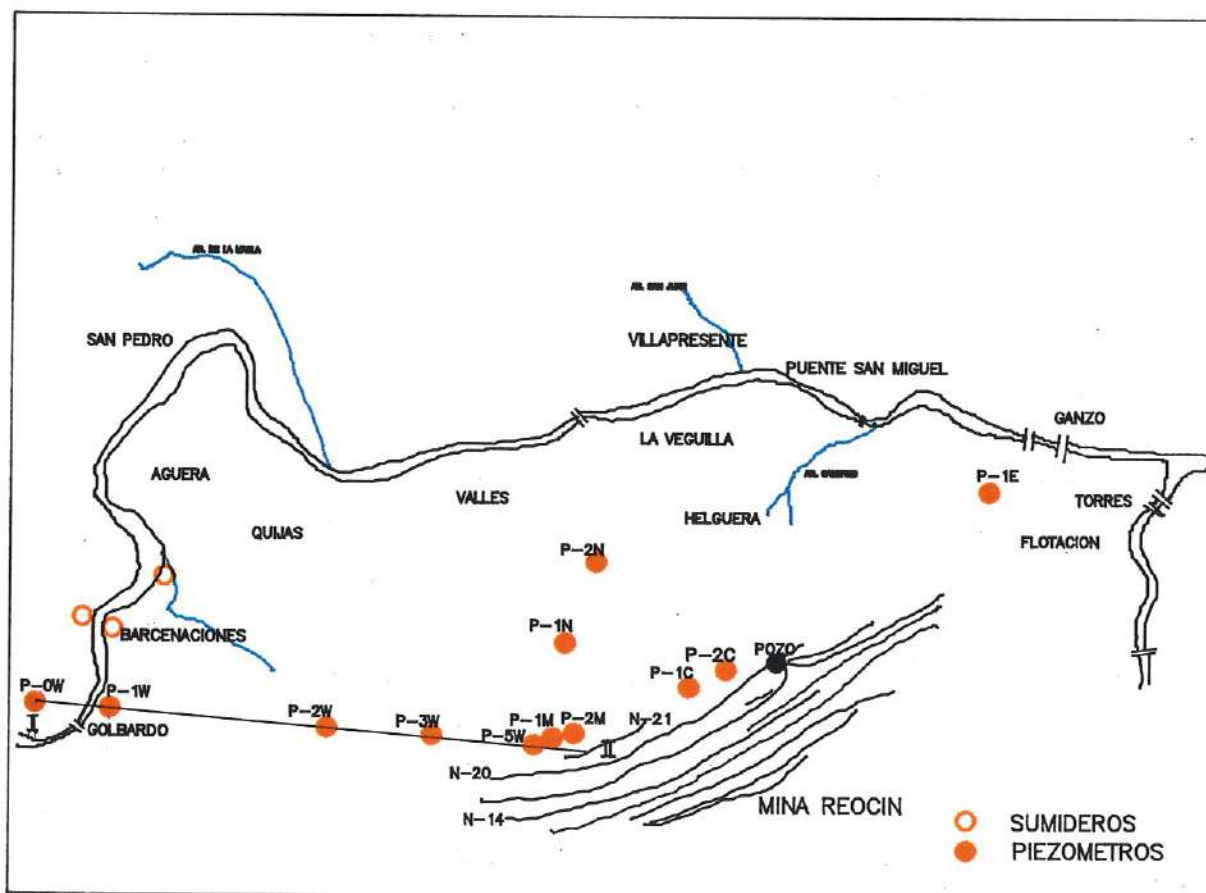


FIG.3.— SITUACION DE LOS PIEZOMETROS Y SUMIDEROS.

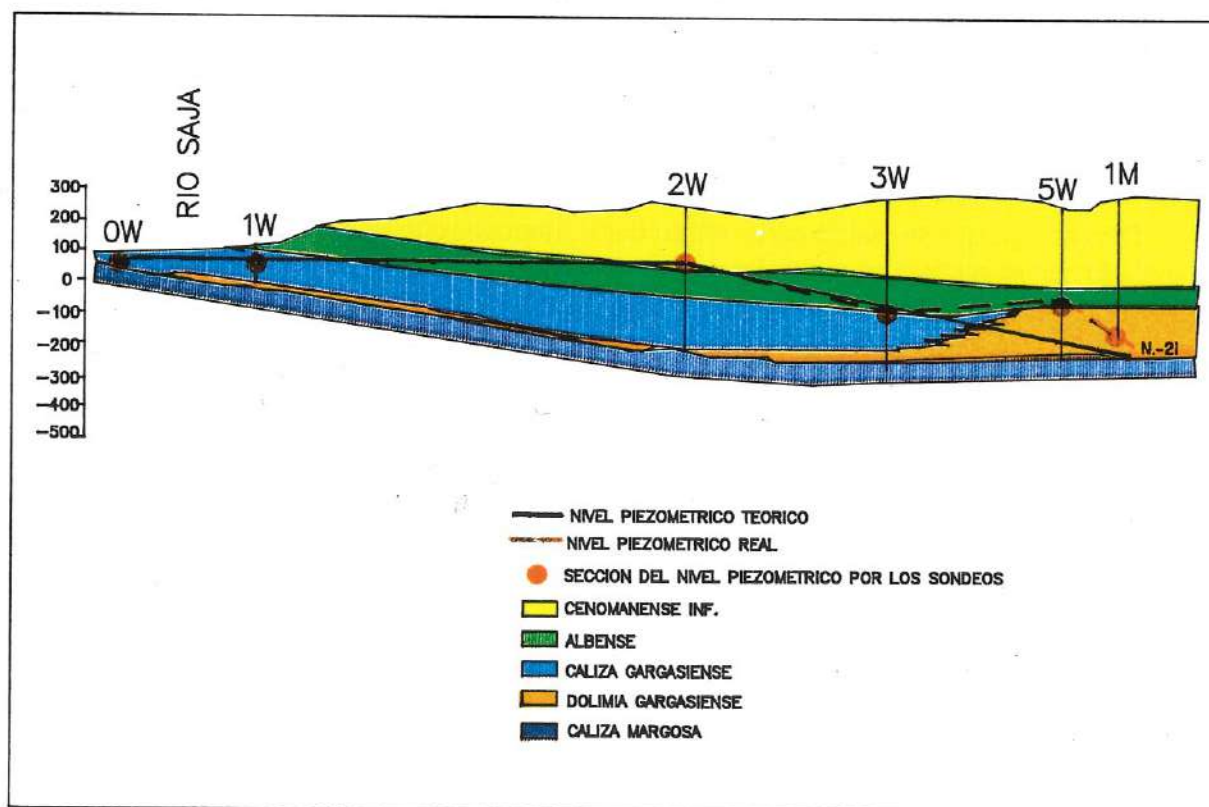


FIG. 3.3 PERFIL I-II

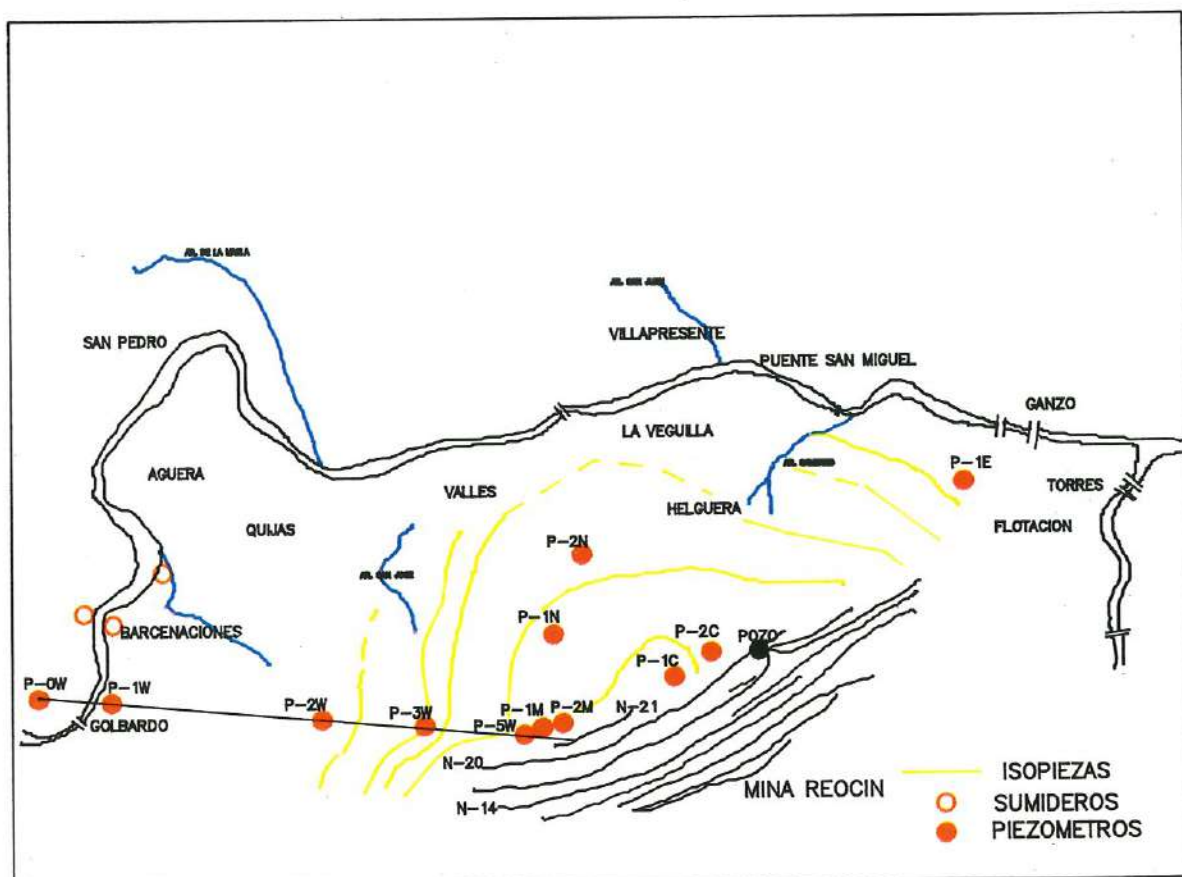


FIG.3.1 SITUACION DE LAS ISOPIEZAS EN LA SEMANA 40 DE 1985.

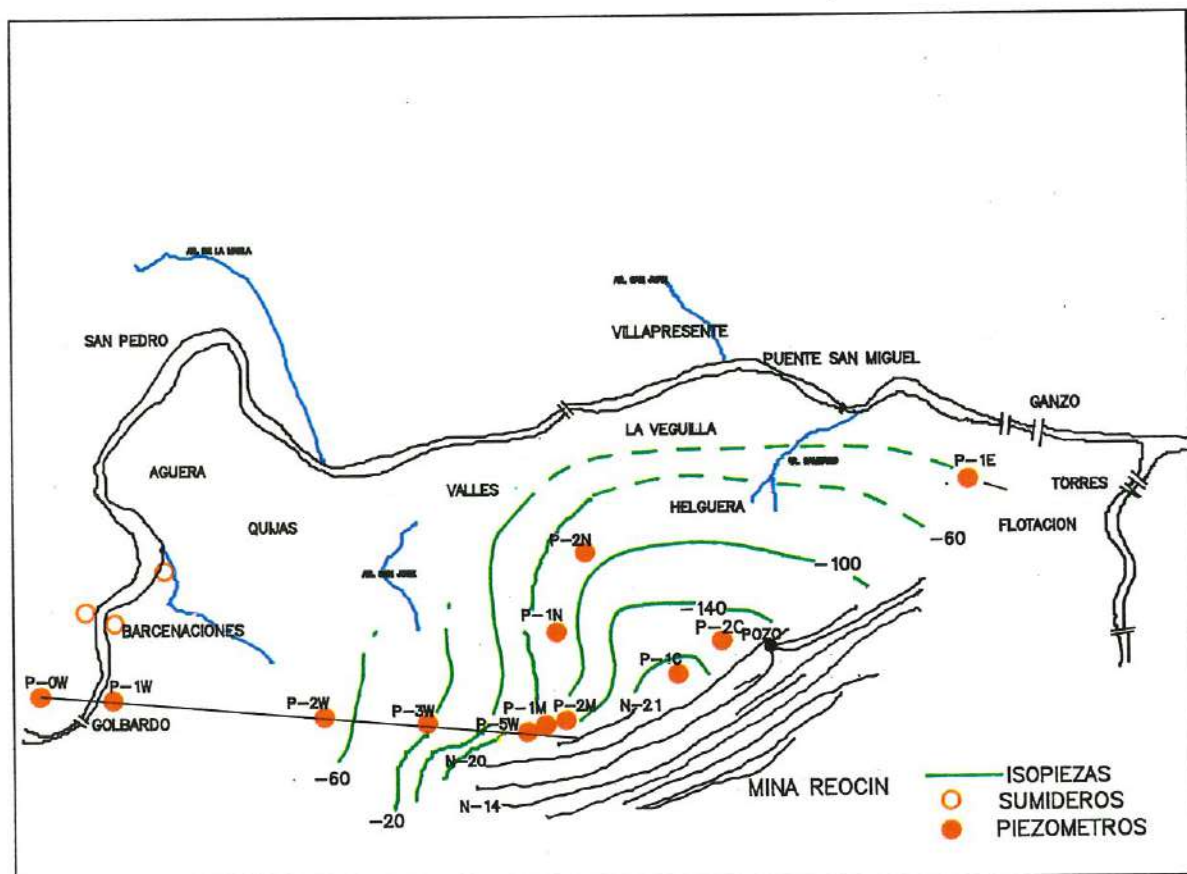


FIG.3.2 ISOPIEZAS EN LA SEMANA 31 DE 1986

que se midieron periódicamente durante 6 años. Los resultados fueron:

- El piezómetro situado en la margen izquierda del río Saja (P-OW) presenta un nivel piezométrico por encima del río, actuando éste como barrera positiva de recarga. En el resto de los piezómetros (margen derecha del río) el nivel piezométrico tiene una cota por debajo del nivel del río, lo que indica que el drenaje de la mina se extiende hacia esa zona. (Fig. 3.3)
- Las oscilaciones del nivel piezométrico varían desde mínimas en los sondeos próximos al río Saja, hasta máximas en los que se sitúan entre el río y la Mina, amortiguándose en las proximidades de ésta. Tal comportamiento se interpreta como debido a que, tanto el río como el fondo de la mina, actúan como niveles de base constantes, de recarga y descarga, mientras que el sector intermedio está sujeto a oscilaciones derivadas de las entradas (recarga por el río y lluvia), y salidas (drenaje por la mina).
- El comportamiento de los piezómetros no fue regular. Mientras en unos el nivel piezométrico acusaba variaciones acordes con los periodos de lluvia, otros no sólo no guardaban esta relación, sino que, además, la tendencia del nivel piezométrico en los mismos no era compatible con el proceso de drenaje de la mina. Las diferencias en el comportamiento de los piezómetros se debe a la complejidad del aparato kárstico, con sifones que obturan masas de agua aisladas.

Como consecuencia de los problemas que presentaban los piezómetros (hundimientos de paredes, sedimentación de finos, etc.), junto a comportamientos anómalos consecuencia de la complejidad del aparato kárstico que afecta a los materiales gargasienses sobre los que se implantaron los sondeos, se hacía difícil la interpretación mediante un mapa piezométrico, por lo que se realizaron mapas de isopiezas (Fig. 3.1. y 3.2) en los que puede verse que el conoide de drenaje incide más o menos perpendicularmente sobre el Gargasiense, comportándose el Bedouliense como una barrera impermeable contra la que desaparece bruscamente el conoide.

7.3. LOS SUMIDEROS DEL RIO SAJA EN BARCENACIONES: INTENTOS DE TAPONAMIENTO.

Conocido el balance hídrico del sistema acuífero minero y los aportes del río Saja al caudal bombeado en la mina, se estimó que el 90% de dicho caudal (casi 1.000 l/s) corresponden a reservas almacenadas en el acuífero mas aportes por infiltración directa del río Saja. La reducción de este caudal supondría un ahorro económico muy importante para la mina, y como reducir el aporte de reservas del acuífero no es posible mientras la mina continúe su desarrollo en profundidad y en extensión, se pensó en reducir las entradas del río Saja mediante impermeabilizaciones. Así se consideraron tres posibilidades:

- 1) ENCAUZAMIENTO DEL LECHO DEL RIO SAJA EN LA ZONA DE BARCENACIONES: Se realizó un anteproyecto para encauzar el tramo del río en el que atraviesa las calizas gargasienses, cuya idea era desviar provisionalmente el caudal del río y crear un canal con revestimiento impermeable que constituiría el nuevo lecho del río. A este proyecto se le calculó un coste de 888.000.000 pts. para una longitud de 1600 m., de cauce (Ferrer,

R., 1984), coste demasiado elevado para un proyecto de dudosa eficacia debido a la extensión del cauce del río y a la confirmación de que el agua penetra también en tramos impermeables cenomanienses por fallas que conectan el exterior con el aparato kárstico gargasiense.

- 2) CONSTRUCCION DE UNA PANTALLA SUBTERRANEA DE IMPERMEABILIZACION: En las proximidades de la mina, para impedir la circulación del agua hacia la misma. Las dimensiones que debería tener esta pantalla, los costes que supondrían los trabajos a realizar en su construcción (calculados en 795.000.000 pts., de 1984) y las dudosas posibilidades de éxito, hicieron rechazar su construcción.
- 3) CIERRE DE LOS SUMIDEROS DEL RIO SAJA EN LA ZONA DE BARCENACIONES: Taponando los dos sumideros conocidos en las márgenes izquierda y derecha del río, con el fin de impedir la llegada del agua del río a la mina. Para ello se construyó una pantalla vertical al Oeste del sumidero de la margen derecha del río, y un muro de contención de agua en el de la margen izquierda, cuyas características describiremos en el apartado siguiente.

7.4. PANTALLA VERTICAL

Conocida la existencia de dos sumideros en las márgenes izquierda y derecha del río y la conexión directa de este último (comprobada con trazadores isotópicos) con las surgencias de agua en las galerías de los niveles 20 y 21 Oeste de la mina, se concibió la idea de interceptar el flujo de agua mediante una "pantalla de impermeabilización vertical" (Fernández Rubio, R., 1984) ubicada al Este del sumidero de la margen derecha, de planta aproximadamente semicircular, apoyada en tramos poco karstificados, con una profundidad que podía ser del orden de los 100 m.

Se realizaron dos estudios previos a la construcción de la pantalla: por un lado una prospección geofísica eléctrica, cuyo objetivo fue conocer el sentido de flujo del agua infiltrada en los sumideros y el desarrollo del karst para la correcta ubicación de la pantalla; por otro lado se realizaron varios sondeos de reconocimiento en la zona, que pusieron de manifiesto la existencia de una fuerte karstificación a techo de la formación caliza gargasiense. Los datos aportados por estos trabajos modificaron el diseño inicial de la pantalla disminuyendo el elevado costo que suponía la inyección a realizar, hasta convertirla en la que se denominó "Pantalla vertical", localizada al Oeste del sumidero de la margen derecha, de planta semicircular. Se decidió "anclar" dicha pantalla en la formación margo-arenosa superior, y levantarla aproximadamente 1,5 m. sobre el nivel de estiaje del río. Para ello, y por comodidad del trabajo se levantó una plataforma de materiales sueltos de 1,5 m. de altura sobre el nivel de estiaje del río y de 15 m. de radio respecto al centro del sumidero.

En esta plataforma se emboquillaron los sondeos de inyección, alcanzando profundidades de 10 a 30 m. en la primera fila de sondeos, llegándose a unificar el resto de los sondeos alcanzando los 18 m. Se perforaron un total de 35 taladros distribuidos en dos filas concéntricas respecto al centro del sumidero. La mezcla inyectada estaba compuesta por cemento, ceniza de piritita, bentonita y agua en distintas proporciones. Para comprobar el funcionamiento de la pantalla, se habían realizado 6 piezómetros cortos por detrás de la segunda fila de taladros inyectados. Estos piezómetros constataron el cese de entrada de agua del río Saja por el sumidero. (Fig.6).

ASTURIANA DE ZINC S.A. MINA REOCIN

GASTOS M³ x h DEL BOMBEO DEL AGUA DE LA MINA

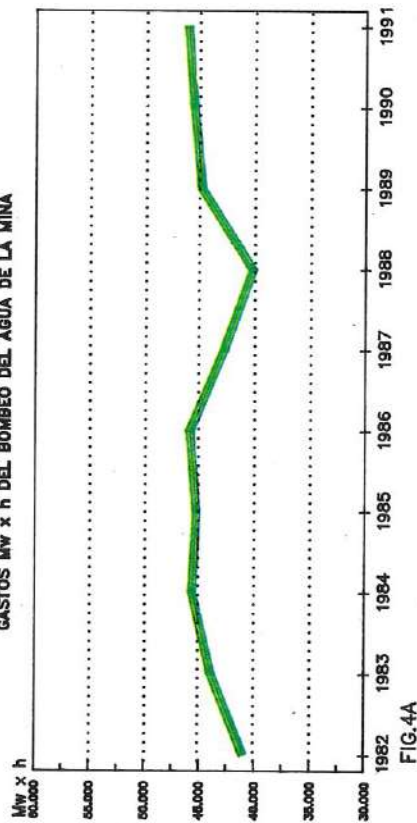


FIG.4A

ASTURIANA DE ZINC S.A. COSTE BOMBEO/PRECIO DE COSTE DE LA TM. TODO-UNO

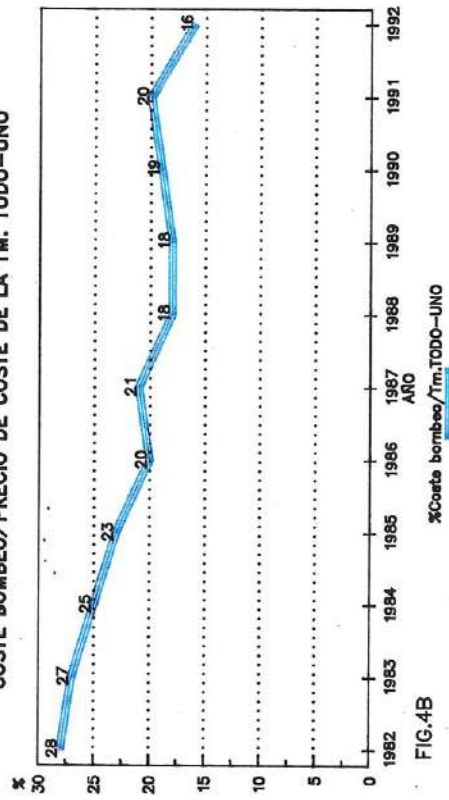


FIG.4B

ASTURIANA DE ZINC S.A. PLUVIOMETRIA

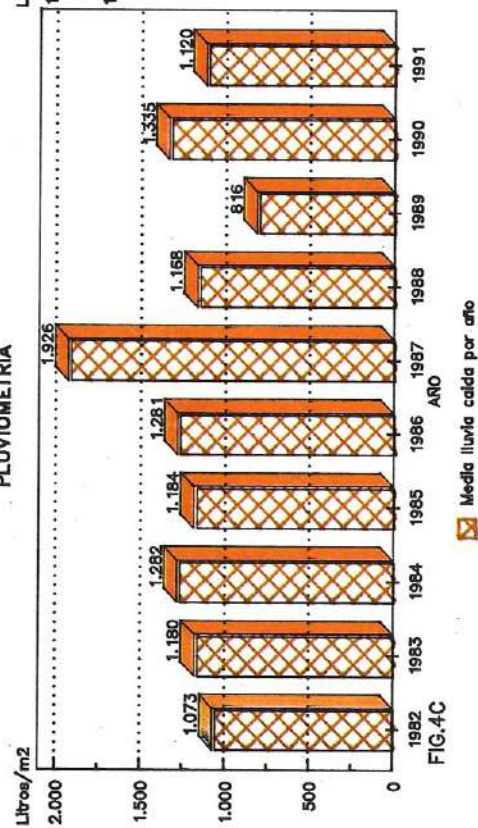


FIG.4C

ASTURIANA DE ZINC S.A. CAUDAL BOMBEO

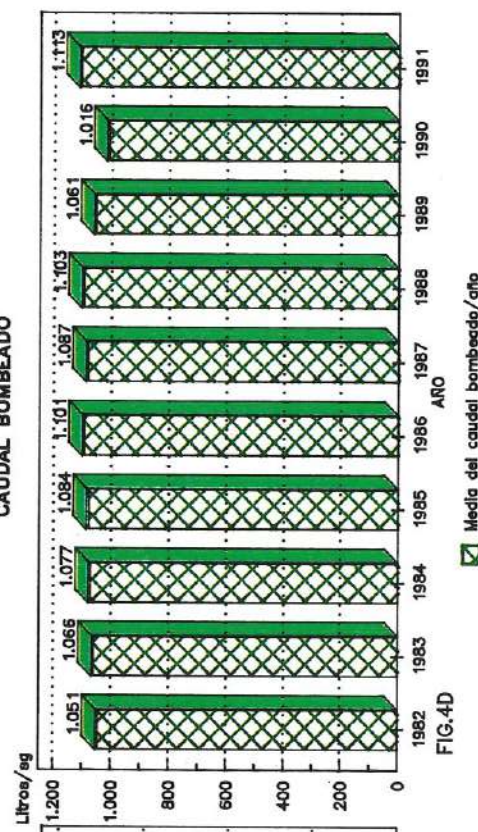


FIG.4D

FIG. 4.- GRAFICOS DE LOS PARAMETROS DEL AGUA DE REOCIN.

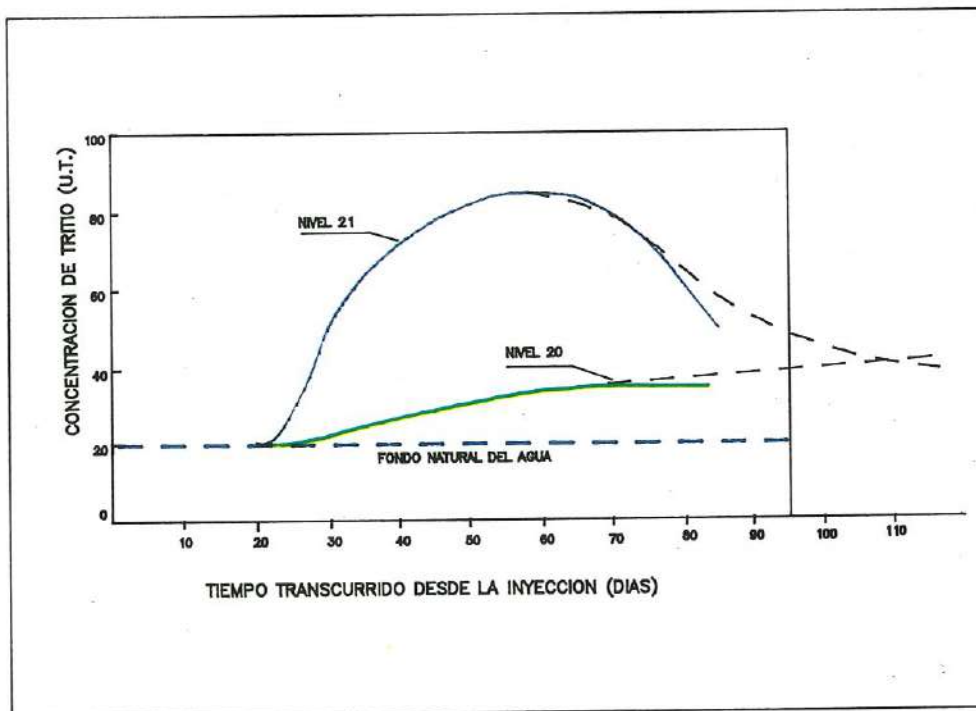


FIG. 5.— SALIDA DE TRITIO POR LAS SURGENCIAS DE LOS NIVELES 20 Y 21

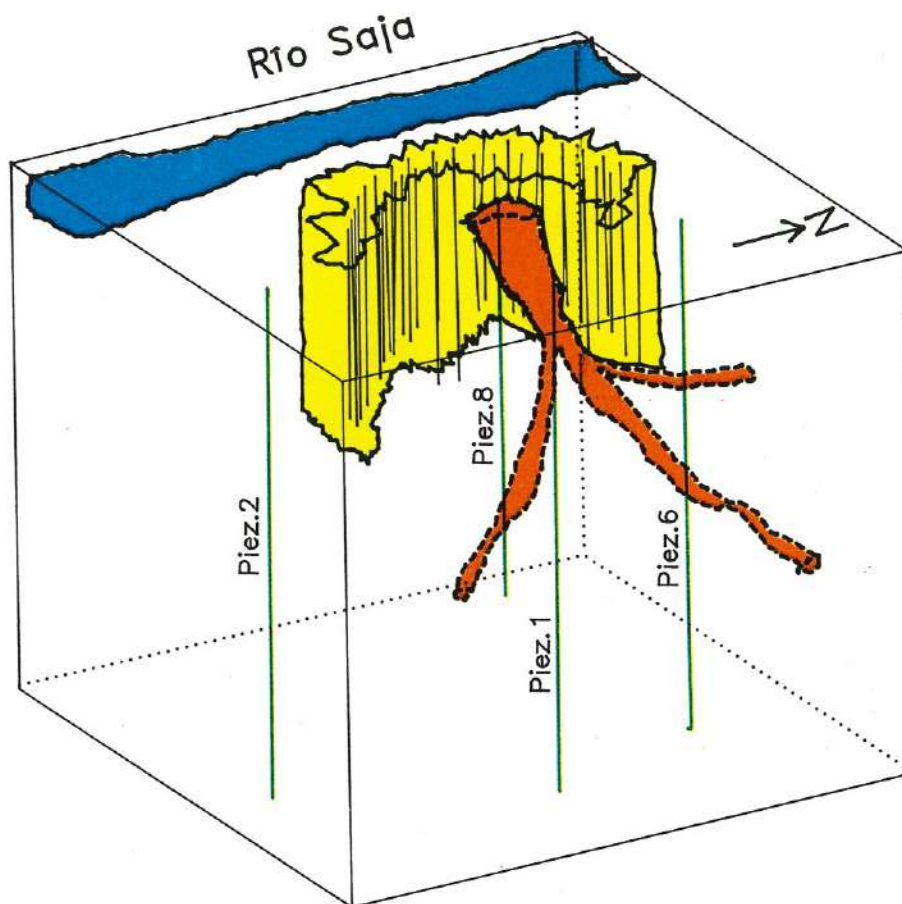


FIG. 6.— INTENTOS DE TAPONAMIENTO DEL SUMIDERO: PANTALLA VERTICAL

Para evitar la entrada de agua del río al sumidero de la margen izquierda, se construyó un muro de hormigón, con un armazón de hierro para mejorar su resistencia. El muro impide la entrada de agua del río Saja, excepto en crecidas importantes que, normalmente, totalizan menos de 10 días al año.

Desgraciadamente, si bien se consiguió impedir la entrada de agua al karst desde estos sumideros, los resultados en la mina no fueron significativos, debido a la existencia de una importante circulación subálvea en el cuaternario del río Saja (la anchura de la terraza de aluviones es de más de 300 m. en algunas partes del río), y a la entrada en funcionamiento de nuevos sumideros que recargan el karst.

7.5 AGUAS POR FRACTURAS.

Además del agua procedente del acuífero sobre el que se sitúa la mina de Reocín, y la de precipitación, existe otro aporte importante, procedente de la circulación del agua por las fallas diapíricas, aguas profundas.

Con el objeto de estudiar la circulación de este agua se decidió conocer la distribución de las fracturas en la mina. Para ello se realizó un estudio estadístico de diaclasas realizado en el Centro Informático de la Universidad de Granada, con 2.798 medidas de fracturas, del interior de la explotación, tomadas por el departamento Geológico de la Mina de Reocín. Del estudio se deduce la existencia de dos direcciones preferenciales de fracturación: una con dirección N159°-165° correspondiente a fracturas transversales del Sinclinal de Santillana; y otra, con dirección N30° 60°E, coincidente con la de alguna de las grandes fallas longitudinales. (Fig. nº 2).

Las conclusiones obtenidas con estos datos son:

a) Disminución del porcentaje de las fracturas abiertas con la profundidad:

NIVEL DE EXPLOTACION	-80 m.	-140 m.	-200 m.	-245 m.
FRACTURAS ABIERTAS	21%	8%	3%	1,5%

b) Incremento del porcentaje de las fracturas verticales con la profundidad:

NIVEL DE EXPLOTACION	-80 m.	-140 m.	-200 m.	-245 m.
BUZAMIENTO VERTICAL	62%	53%	70%	91%

c) Incremento porcentual de fracturas verticales con la profundidad:

NIVEL DE EXPLOTACION	-80 m.	-140 m.	-200 m.	-245 m.
FRACTURAS CON AGUA	21%	28%	21%	32%
FRACTURAS CON RELLENO	21%	12%	16%	29%

Por todo esto, el flujo de agua por fracturas, en el sistema acuífero gargasiense, se debe producir preferencialmente según ejes de alimentación o drenaje de dirección N30°-60°E, a los que acceden o de los que derivan otros ejes de drenaje de dirección N150°-165°E.

En resumen, existen tres orígenes en las aguas que surgen en las labores mineras de Reocín:

- 1- KARSTICA:** Es la más importante de la mina, aproximadamente 100 l/seg con un pH= 7,59; T=21°C y Conductividad= 349 $\mu\text{S}/\text{cm}$., con pocas variaciones a lo largo del año. Es un agua absolutamente potable en el momento de la surgencia.
- 2- DIAPIRICA:** Afluye por las fallas, especialmente la "N-21", tiene un pH=7,70; T=23°C; Conductividad= 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$ su aporte es regular todo el año y caracterizada por la existencia de iones $\text{Na}^+=400 \text{ mg/l}$ y $\text{Cl}^-=668 \text{ mg/l}$.
- 3 LLUVIA:** Tiene escasa influencia, aunque sus aportes masivos provocan inundaciones y gran cantidad de sólidos en suspensión, que perjudican notablemente el bombeo. Puede llegar, eventualmente, a más de 200 lts/sg y aumenta su importancia a medida que avanza la explotación a cielo abierto. Parte de este agua, (10-20 l/seg.) atraviesa los minados antiguos, mezclándose posteriormente con las anteriores.

El agua que atraviesa los minados sale con un pH = 2.78; T=24°C; Conductividad = 4210 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y se caracteriza por los iones de $\text{SO}_4^{2-} = 2076 \text{ mg/l}$; $\text{NO}_3^- = 110 \text{ mg/l}$ y $\text{Zn} = 65 \text{ ppm}$.

El agua diápirica es, proporcionalmente, poco importante pero influye en la estabilidad de las labores en la caliza, debido a que la falla del "N-21" que la aporta, corta todo el paquete. El agua procedente de lluvia tiene el inconveniente de que su aporte es momentáneo y puede ser gran cantidad, éste aporte va incrementándose a medida que aumenta la extensión de explotación a cielo abierto y puede ir acompañada de aportes de barro. El agua procedente de los minados antiguos se controla únicamente por el factor de inestabilidad que conllevan las aguas colgadas en una explotación minera.

7.6. CONTROL DE KARST

Además del control de los piezómetros, se realizó un control kárstico desde el interior de la mina, aprovechando las baterías de sondeos que se realizan en la investigación desde las galerías de muro. Se desarrolló una técnica de aplicación hidrogeológica (Profesor Fernández Rubio, alumnos de la Facultad de Ciencias Geológicas de Granada y Departamento de Geología de A.Z.S.A.) consistente en controlar el caudal en estos sondeos, la presión hidráulica, temperatura,

toma de muestras de agua para determinar su conductividad y contenido en cloruros (posible relación con los aportes de aguas diapíricas de fondo, a favor de las fallas "N-21").

- 1) **CONTROL DE CAUDAL:** Se realizaron medidas sistemáticas en los sondeos durante la maniobra de cambio de varillas (aproximadamente cada 3 m.). Se comprobó que en la caliza margosa y la dolomía de muro no existía prácticamente desarrollo kárstico. El aporte de agua se sitúa en la parte inferior del paquete dolomítico Gargasiense en la zona mineralizada. En él los caudales son muy variables, de 1 a 5 L/seg y en forma muy errática, ya que en la misma batería había sondeos que cortaban agua y otros que no.
- 2) **CONTROL DE TEMPERATURA:** Se midió a la vez que el control de caudal, mostrando la existencia de un aporte descendente de agua más fría que circula preferencialmente por la dolomía mineralizada. Este agua hace descender la temperatura del acuífero, calculada en la zona de estudio como de unos 23°C. Se supone que el aporte de este agua debe estar relacionado con el drenaje provocado por la explotación en el nivel 20.
- 3) **CONTROL DE PRESION:** Se realizó con un manómetro de 0,2 kg/cm² de precisión. Los ensayos consistían en medidas de las presiones variando las condiciones en los sondeos, manteniendo uno o varios de ellos abiertos y los otros cerrados o todos cerrados. Los datos evidencian una buena comunicación hidráulica en el tramo acuífero dolomítico, y entre los materiales dolomíticos mineralizados y karstificados.
- 4) **ENSAYOS ESCALONADOS DE DRENAJE/DESPRESURIZACION:** Se realizaron una vez finalizados los sondeos, y consistían en dar salida al agua por uno de los sondeos, con escalones de caudal creciente, y medir la presión en los otros sondeos para cada escalón de caudal. De estos ensayos se dedujo que para originar un buen drenaje los taladros deberían ser de mayor tamaño, si bien los drenajes provocados a través de los sondeos producen descensos sensibles de carga hidráulica en el acuífero dolomítico.
- 5) **ENSAYOS DE RECUPERACION DE PRESION:** Después del ensayo anterior y tras el cierre de cada sondeo, se hizo un control del tiempo de recuperación de la presión en cada sondeo, comprobándose que la estabilización de la misma ocurre antes de 10 minutos, y, en muchos casos tarda sólo 3 ó 4 minutos. Esto significa que la circulación del agua en este medio karstificado es muy rápida.

SISTEMA DE DESAGUE PROYECTADO

Dados los resultados negativos de los estudios realizados con el fin de disminuir la entrada de agua a la mina, se planteó como alternativa al bombeo por etapas, un nuevo sistema de un solo escalón, constituido por dos grupos de tres bombas, con una potencia instalada de 5.630 kW., y con fosos separados e independientes, situado en la cota -272 m. (Fig. nº 7).

El montaje de las bombas es de tipo vertical sumergido, de fabricación Worthington accionadas por motores asíncronos de doble jaula, arranque directo en vacío y carga progresiva, mediante la apertura retardada de válvulas de descarga accionadas eléctricamente, y a una tensión nominal de 6 kW, de fabricación Siemens. Cada grupo consta de dos motobombas de

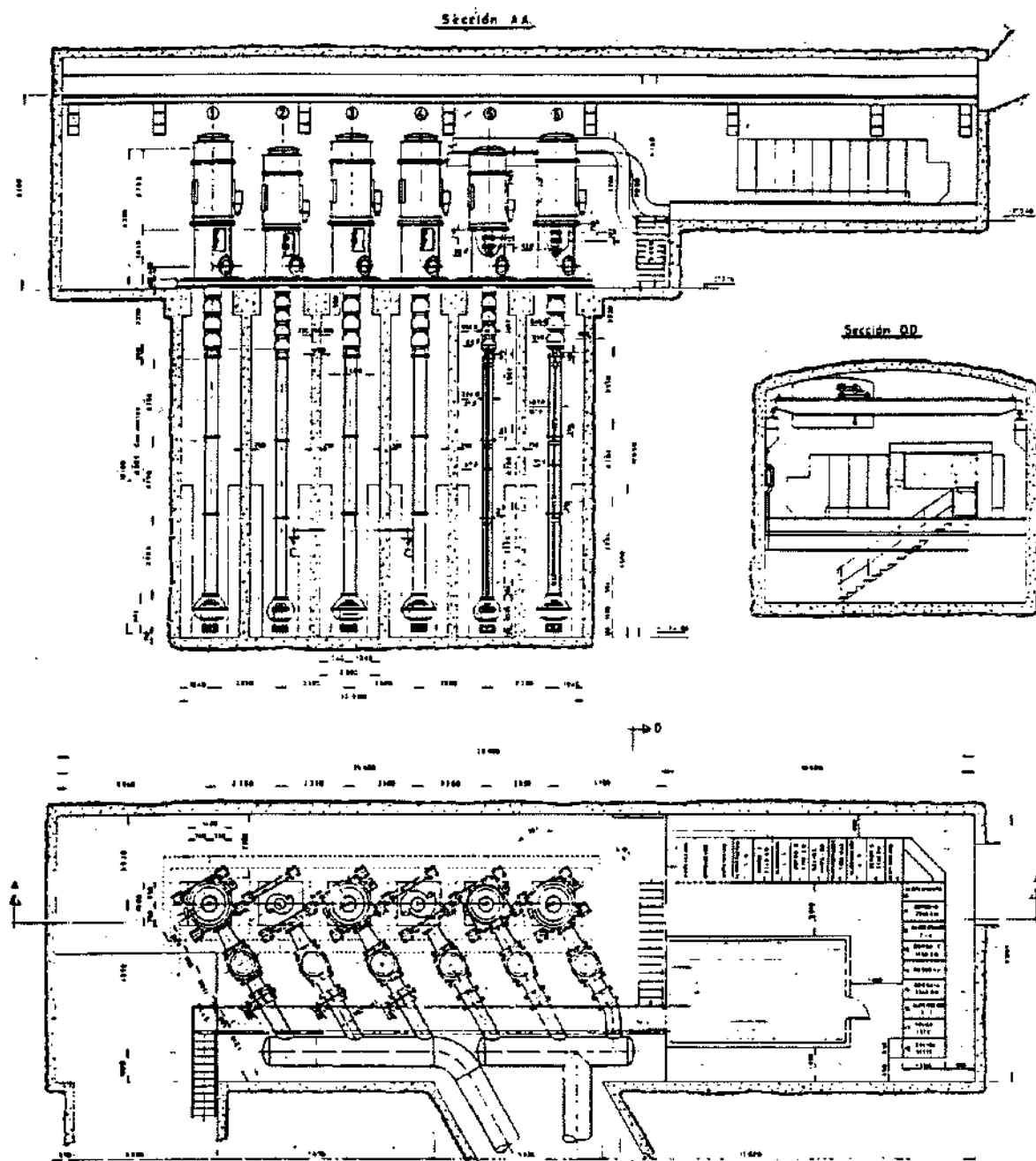


FIG. 7.- ESQUEMA DE LA NUEVA SALA DE BOMBAS EN EL NIVEL -272

2.240 kW y una de 1.150 kW, estando previsto que funcionen dos de forma continuada y la tercera en puntas, en relación al aporte de agua al foso.

El sistema de control se apoya en un autómata programable Siemens, de la serie U, modelo 115, con lo cual la instalación funciona de modo totalmente automático, si bien puede accionarse en forma manual si fuese preciso.

El arranque y parada de las bombas se realiza de modo secuencial en función del nivel en el foso, medido por un ecodetector de ultrasonidos con microprocesador. Se preveen tiempos máximos de marcha continuada de 30 horas, para equilibrar los tiempos de funcionamiento de los motores, así como un límite de 27 arranques diarios, en orden a impedir el desgaste que los sucesivos arranques suponen para las máquinas.

La selección de uno u otro grupo se realiza mediante dos compuertas verticales, de accionamiento hidráulico, que cortan el aporte a cada uno de los fosos, estando previsto el funcionamiento de las seis bombas, si fuese necesario, y controladas en las condiciones anteriores.

El desagüe se realiza por dos líneas independientes con tubería de un metro de diámetro y un desnivel de 330 metros, dotadas de válvulas de retención en cabeza, y un sistema de compensación de "golpe de ariete" por tanques de membrana con nitrógeno presurizado.

El sistema se completa con una compuerta de cierre automático por alto nivel en los fosos o por fallo de alimentación en control y una puerta en la cota -272 que aísla la sala de bombas de una posible inundación.

Bajo el punto de vista económico, la nueva instalación supondrá un gran avance ya que la sustitución de varias estaciones menores por una sola etapa, implica un aumento del rendimiento, circunstancia ya comprobada actualmente en el periodo de pruebas de bombeo del nivel 21 Centro al nivel 20, sustituyendo a las dos estaciones de bombeo antes utilizadas.

El aumento de la tensión de trabajo de 3 a 6 KV también implica un considerable ahorro al aumentar los rendimientos de transformación y transporte de energía. (Figs. nº 4A y 4B).

Por último, y en el apartado de costes de personal, la utilización de un autómata hace innecesario el empleo de personal que no sea estrictamente de mantenimiento, estando el servicio cubierto por un electricista y un ayudante que normalmente realizan otros trabajos alternativos en la proximidad de la Sala de Bombas.

El buen funcionamiento de estas nuevas bombas está condicionado por la existencia de sólidos en el agua. La operación minera, como consecuencia de la utilización de maquinaria pesada, jumbos, palas, camiones, etc... origina gran cantidad de lodos, que son arrastrados por las aguas que hay que bombear.

Para evitar que estos sólidos en suspensión lleguen a las bombas, se han construido dos diques de decantación de 100 y 110 metros de largo, 4,5 m. de ancho y 1,39 m. de profundidad con 625,5 m³ y 688 m³ de capacidad que retienen el 82% de los sólidos arrastrados permitiendo que a las bombas les llegue un agua con menos de 110 ppm de sólidos de tamaño inferior a 100µ.

CONCLUSIONES

De los trabajos que a lo largo de los años se han desarrollado en Reocón sobre la presencia de agua en las labores mineras de interior, se obtienen las siguientes conclusiones:

- 1- El caudal medio que hay que bombear desde el fondo de la mina es de 1.150 l/s, aumentando con la profundidad de las explotaciones.
- 2- El 85% de esta agua procede del karst que conecta las labores mineras con el río Saja, el 14% del aporte de lluvia y el 1% restante es diapírica.
- 3- Las soluciones globales para evitar esta conexión, ya sea canalización o pantalla, no son viables por su alto coste y, además, son de dudosa eficacia.
- 4- Las soluciones parciales (obstrucción de sumideros), se han demostrado ineficaces debido a la abundante circulación subálvea del río y la gran cantidad de puntos de conexión con el karst.
- 5- Abandonada la idea de disminuir la cantidad de agua que se debía bombear, se volcaron todos los esfuerzos en optimizar el desagüe y abaratar así los costes de producción.
- 6- Tratamos de cumplir este objetivo con un nuevo desagüe en un sólo escalón (frente a tres escalones que existían anteriormente) y con un sistema de bombeo de alto rendimiento. La planta de bombeo entrará en funcionamiento a partir del mes de Mayo de 1992.

BIBLIOGRAFIA

- ANTON, R., (1975), "EL KARST DE "LA GARMA" (REOCIN) Y SU UTILIZACION PARA LA ELIMINACION DE RESIDUOS SOLIDOS". Cuadernos de Espeleología nº8. pp 107 - 122
- A.Z.S.A. Informes privados.
- BAONZA, E.,; PLATA, A.,; RUIZ, A.; PERY, P., (1983), "ESTUDIO ISOTOPICO SOBRE EL ORIGEN DEL AGUA SURGENTE EN LA EXPLOTACION MINERA DE REOCIN (SANTANDER)". Informe particular A.Z.S.A.
- FDEZ. RUBIO, R., (1975), "CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLOGICAS E HIDRODINAMICAS DEL KARST PARA LA INYECCION DE AGUAS RESIDUALES". Bol. Geol. y Min.
- FDEZ. RUBIO, R., (1975), "PROBLEMAS HIDROGEOLOGICOS EN LA MINERIA". Bol Geol. y Min.
- FDEZ. RUBIO, R., (1980), "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA MINA DE REOCIN". Informe particular A.Z.S.A.
- FDEZ. RUBIO, R. et al., (1986), "ABANDONO DE MINAS. IMPACTO HIDROLOGICO". I.T.G.E.; E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS.
- FDEZ. RUBIO, R., (1990), "INFORMES HIDROGEOLOGICOS DE SINTESIS". Informe particular A.Z.S.A.
- FERNANDEZ, G.; REINOSO, J.; SEEBOLD, I.; GOMEZ, F.; ESCAYO, M.; ALONSO, J.A. (Dpto. de Geología de Asturiana de Zinc, S.A.), (1988), " PROSPECCION DEL SINCLINAL DE SANTILLANA.- Aporte a la prospección de yacimientos profundos de Pb-Zn en rocas carbonatadas". VII CONGRESO DE MINERIA.
- I.T.G.E., (1990), "MAPA GEOLOGICO -MINERO-CANTABRIA". E=1:100.000.
- LOPEZ VERA, C.F. et al., (1978), "ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PRELIMINAR DE LA MINA DE REOCIN (SANTANDER-ESPAÑA). SIASMOS, Granada.
- PLATA, A., (1972), "ISOTOPOS EN HIDROGEOLOGIA". Ed. Alhambra, Madrid, 328 pp.
- ROUCH, R. et GOURBAULT, N., (1980), "ETUDE DE LA DERIVE DES ANIMAUX DANS LES EAUX DE LA MINE DE REOCIN (TORRELAVEGA - SANTANDER - ESPAGNE)". Informe particular A.Z.S.A.
- SANCHEZ, J.B., (1978), "ESTUDIO SOBRE LA GENESIS DE CRIADEROS" Rev. Universidad de Salamanca, pp. 83-105.
- SEEBOLD, I; FERNANDEZ, G; REINOSO, J; ALONSO J.A; ESCAYO, M,A; GOMEZ, F; (Dto de Geología de ASTURIANA DE ZINC, S.A.), (en prensa), "YACIMIENTOS ESTRATOLIGADOS DE BLEND, GALENA Y MARCASITA EN DOLOMIAS, MINA DE REOCIN (CANTABRIA)". Yacimientos Minerales Españoles - Textos Universitarios C.S.I.C..
- TRILLA, J. et al., (1978), "SOBRE EL ORIGEN Y DINAMICA DE LAS AGUAS FLUYENTES DE LAS EXPLOTACIONES MINERALES DE REOCIN (SANTANDER - ESPAÑA)". SIASMOS, Granada.

SEGUNDA SESION

GESTION DEL AGUA EN LA MINERIA, USOS Y ALTERNATIVAS

Moderador: D. José María Pernía Llera

**PLANTEAMIENTO INTEGRAL
DE LA HIDROGEOLOGIA
EN LA MINERIA.
CASO DE MINAS DEL MARQUESADO**

Ponentes:

D. Pierre Loisy

D. Francisco Medina Salcedo



CASO DE MINAS DEL MARQUESADO

(CIA. ANDALUZA DE MINAS, S.A.)

Pierre LOISY

Cia. Andaluza de Minas, S.A.

Minas del Marquesado - ALQUIFE (Granada)

Francisco MEDINA

Bombeo y Sistemas, S.A. (BOSISA)

INTRODUCCION

Desde su creación, en 1929, la Compañía Andaluza de Minas (abreviación: CAM) explota un conjunto de concesiones en el yacimiento de hierro del Marquesado del Zenete.

Este yacimiento está ubicado al pie de la vertiente N de Sierra Nevada, 80 Km por carretera al E de Granada, y su salida es el Puerto de Almería, con el cual le une un ferrocarril de 96 Km de longitud.

La explotación del cerro calizo de Alquife, único afloramiento del yacimiento, remonta a muchos siglos.

La CAM empezó a desarrollar sus labores en subterráneo, en las prolongaciones N, bajo un espesor cada vez mayor de aluviones, de la potente formación caliza de dicho cerro.

A consecuencia de las dificultades encontradas en la estabilidad de las labores, y de la aparición en el mercado de potentes máquinas de alto rendimiento para el movimiento de tierras, la CAM inició en los años 60 una rápida transformación de su método de explotación, con la apertura progresiva de una cantera a cielo abierto.

Gracias a esta medida, la producción consiguió alcanzar el millón de toneladas de Mineral Vendible en 1967 y, para mantener los costos a un nivel razonable, compatible con el mercado, siguió subiendo hasta llegar a los 3,5 millones de toneladas actuales.

En paralelo, se debe desmontar del orden de 14 Mt de aluvión de recubrimiento de los futuros ensanches de la corta, así como 6 Mt de caliza como estéril asociado al mineral.

Además, es necesario bombear del orden de 15 Hm³ de agua.

La corta tiene ya dimensiones considerables: 1.500 x 1.200 m en superficie y 260 m de profundidad.

Seguendo la geología, la explotación se desarrolla en dos fases distintas en espacio, aunque simultáneas en tiempo:

- 1.-Desmante de aluviones mediante bulldozers empujando, por rebanadas descendentes, este producto suelto hacia un canal de alimentación de una tolva blindada (RockBelt), situada a pié de talud. Con este método se han alcanzado alturas de trabajo de hasta 130m en los últimos ensanches.
- 2.-Extracción clásica del mineral y de la caliza encajante por bancos horizontales de 10 m de altura. Se utiliza al máximo la banda transportadora.

Las labores subterráneas encontraron el nivel de agua primero en caliza, a 100 m de profundidad (cota 1050), y, hasta 1957, la explotación se detenía al alcanzar este nivel.

El conocimiento de abundantes reservas por debajo de esa cota, y los progresos realizados desde entonces en las técnicas de bombeo, llevaron a realizar un, cada vez más importante, desagüe en caliza, según el desarrollo de la explotación. Así, se ha conseguido explotar hasta la cota 890, lo que representa un descenso de 160 m, en relación con el nivel inicial.

Por otra parte, el desarrollo horizontal de la cantera, a partir de los años 70, encontró la permanente presencia de agua en los aluviones de recubrimiento, con los consiguientes problemas de seguridad, ligados a la inestabilidad de taludes en aluviones saturados. Ello obligó a numerosos estudios y trabajos, que culminaron con la puesta en práctica del drenaje de los aluviones, previamente a su desmante.

DOMINIO HIDROGEOLOGICO

Ambito geológico

El yacimiento del Marquesado está ubicado en el ámbito de las Cordilleras Béticas, y más concretamente, dentro de la zona Bética s. str. (figura 1). A su vez, queda comprendido en la cuenca hidrográfica del río Verde o Guadix, el cual forma parte del sistema hidráulico del río Guadalquivir.

La cuenca del río Verde tiene una extensión aproximada de 610 Km², y dentro de ella, como consecuencia de factores geológicos y procesos estructurales, se distinguen dos grandes grupos de materiales (figura 2):

- 1.- En los bordes, formaciones preorogénicas que ocupan los relieves más altos. Corresponden a materiales triásicos, paleozoicos y más antiguos, afectados todos ellos por estructuras alpidicas, y en parte, también, por procesos metamórficos.

Dentro de estas formaciones, debido a la complejidad tectónica de la zona, se diferencian varias unidades estructurales, correspondientes a mantos de corrimiento superpuestos. En el área de la explotación minera sólo está representado el llamado complejo Nevado-Filábride.

- 2.-Hacia el centro de la depresión, terrenos postorogénicos de relleno, cuya distribución no guarda relación directa con la tectónica de mantos, sino que está condicionada por la

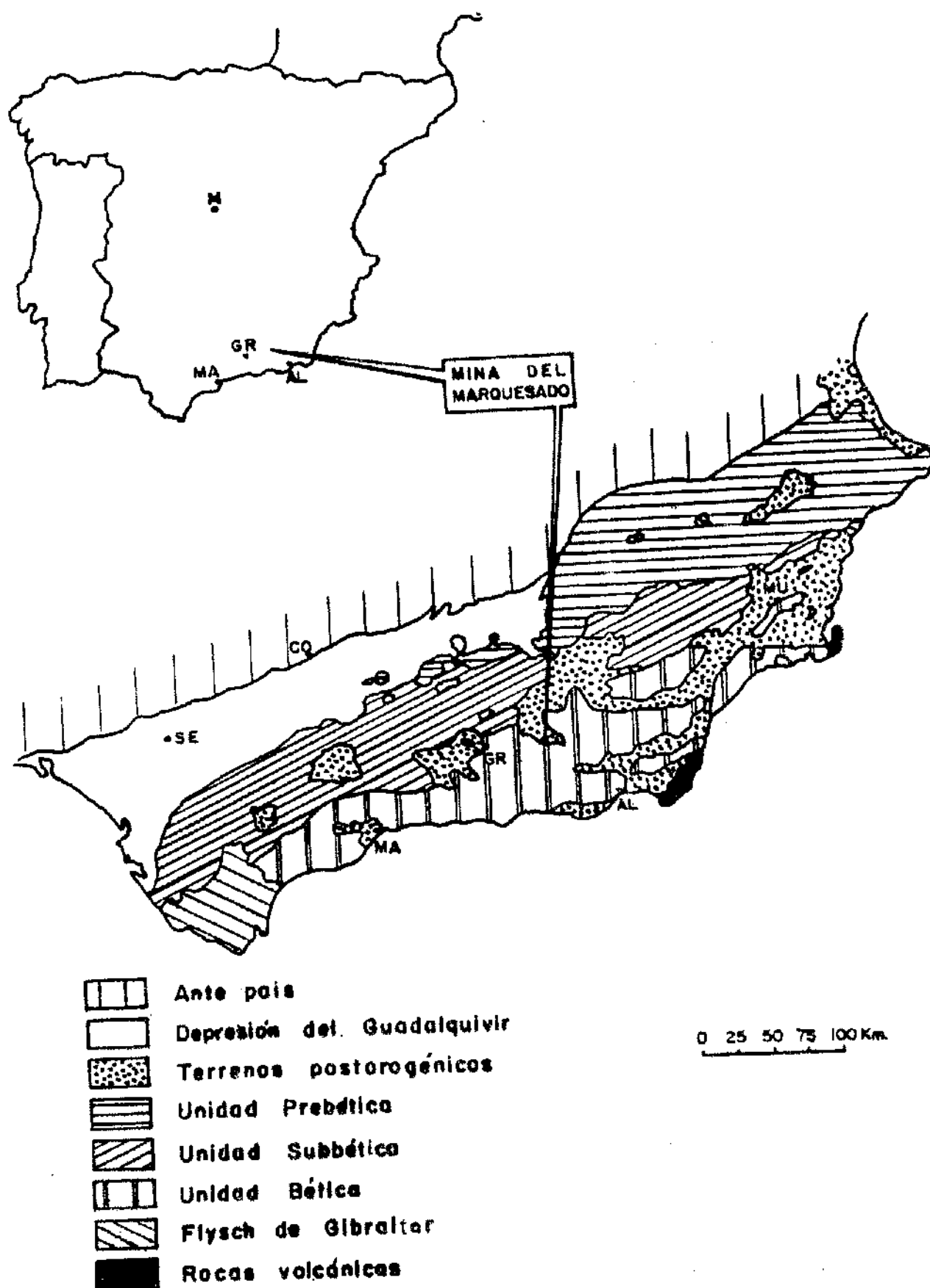


Fig. 1. Situación geológica.

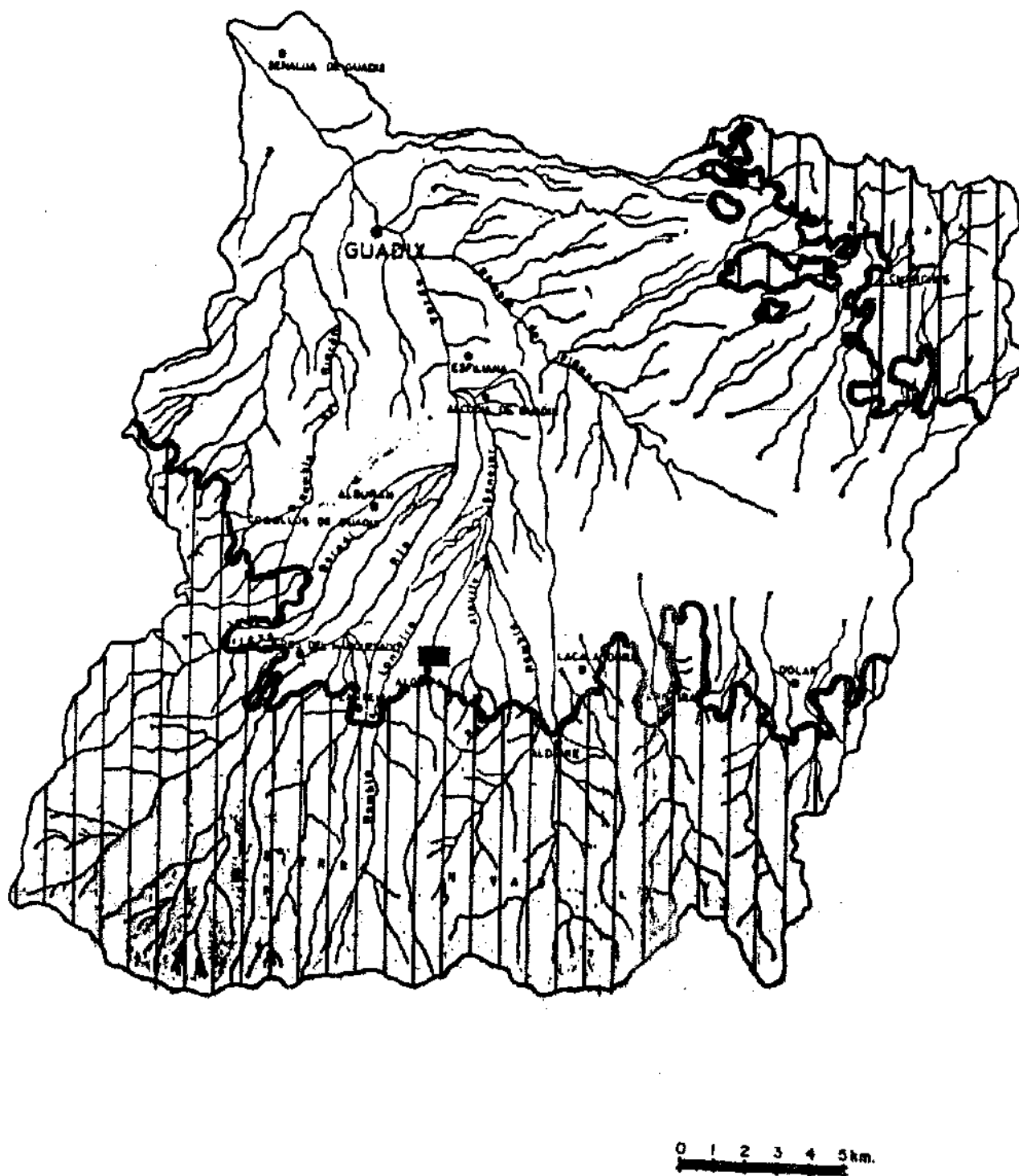


Fig. 2. Cuenca hidrogáfica del río Verde.

estructura de pliegues de gran radio. Consecuencia de este tipo de plegamientos fue la individualización de la depresión de Guadix-Baza, en cuyo extremo se localiza la comarca del Marquesado.

La columna estratigráfica de la figura 3, muestra los materiales presentes en la explotación, y sobre los que se centra la problemática hidrogeológica de la mina del Marquesado.

Características hidráulicas

La tabla 1 resume las características hidráulicas de los diferentes materiales.

Los micaesquistos del muro del yacimiento forman un conjunto de rocas bastante homogéneo, y desde el punto de vista hidrogeológico, se comportan como substrato «impermeable», no sólo en el área de la explotación, sino, en general, en toda la cuenca del río Verde.

Las calizas constituyen un acuífero más o menos aislado, pero en su conjunto, su buena permeabilidad, condicionada por su estado de fisuración y, localmente, su grado de disolución, les confiere gran importancia en la hidrogeología del yacimiento. Llegan a alcanzar espesores superiores a los 300 m, y en ellas encajan las mineralizaciones de hierro.

La hematites se caracteriza por su escasa permeabilidad y reducido drenaje; localmente juega el papel de pantalla dentro del acuífero calizo.

El «Rubial», conglomerado brechoide cementado por una matriz calizo-arcillosa ferruginosa, se encuentra, no siempre, sobre las calizas y la hematites, en el contacto con los materiales postorogénicos. Igual que la hematites, posee escasa permeabilidad y mal drenaje.

Los aluviones, dado su gran espesor y extensión, constituyen un acuífero de gran importancia, con excelentes cualidades para el almacenamiento de agua; la mayor parte de su volumen se encuentra en condiciones de saturación, cuya superficie piezométrica se extiende de forma continua bajo el Llano del Marquesado. Este acuífero se caracteriza por:

- Su composición detrítica heterogénea dentro de una matriz limosa, con acusados cambios granulométricos, tanto laterales como verticales.

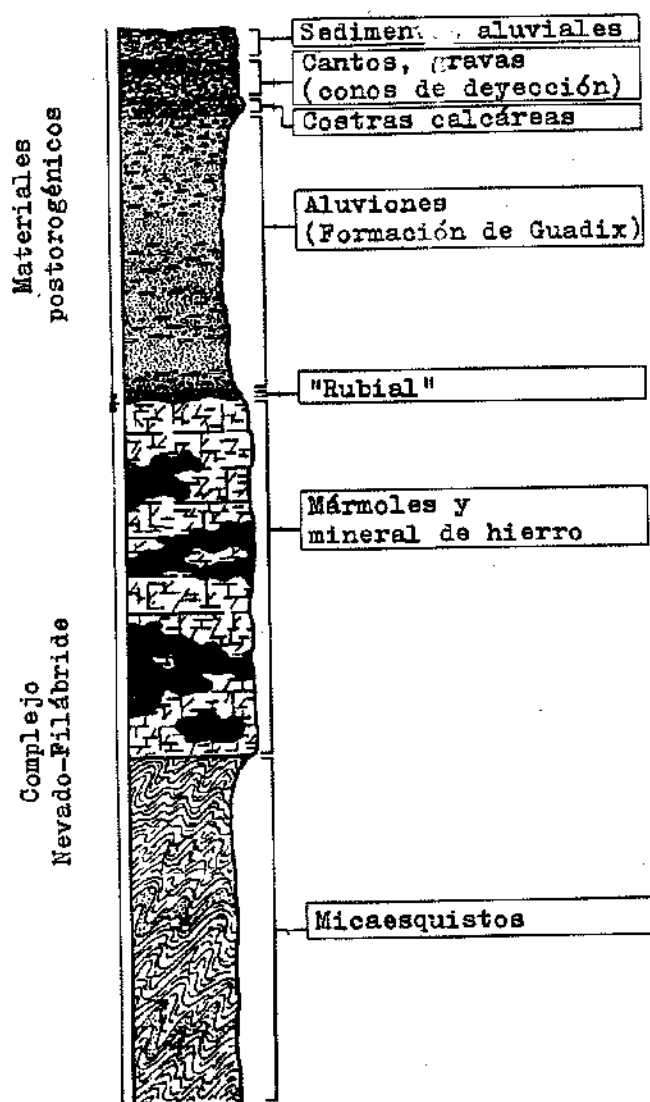


Fig. 3. Columna estratigráfica.

- Su fuerte anisotropía, determinada por la alternancia, en sentido vertical, de niveles finos y gruesos, y por la disposición subhorizontal de los cantos planares de esquistos que lo integran. Ello explica la diferencia entre su permeabilidad horizontal y vertical.

Los conos de deyección del contacto entre la zona montañosa y la llanura, constituidos por cantos, gravas y arenas, desempeñan un papel importante en la infiltración de la escorrentía superficial procedente de la ladera de Sierra Nevada.

Finalmente, los sedimentos aluviales del cauce del río Verde actúan como colectores de las aguas del manto acuífero del Llano, por el que son alimentados. De ahí, que las terrazas fluviales sean objeto de numerosas captaciones.

Aspectos climáticos e hidrológicos

Las curvas isoyetas de la precipitación media anual de la figura 4, ponen de manifiesto grandes diferencias de su distribución entre la llanura y la zona montañosa de Sierra Nevada.

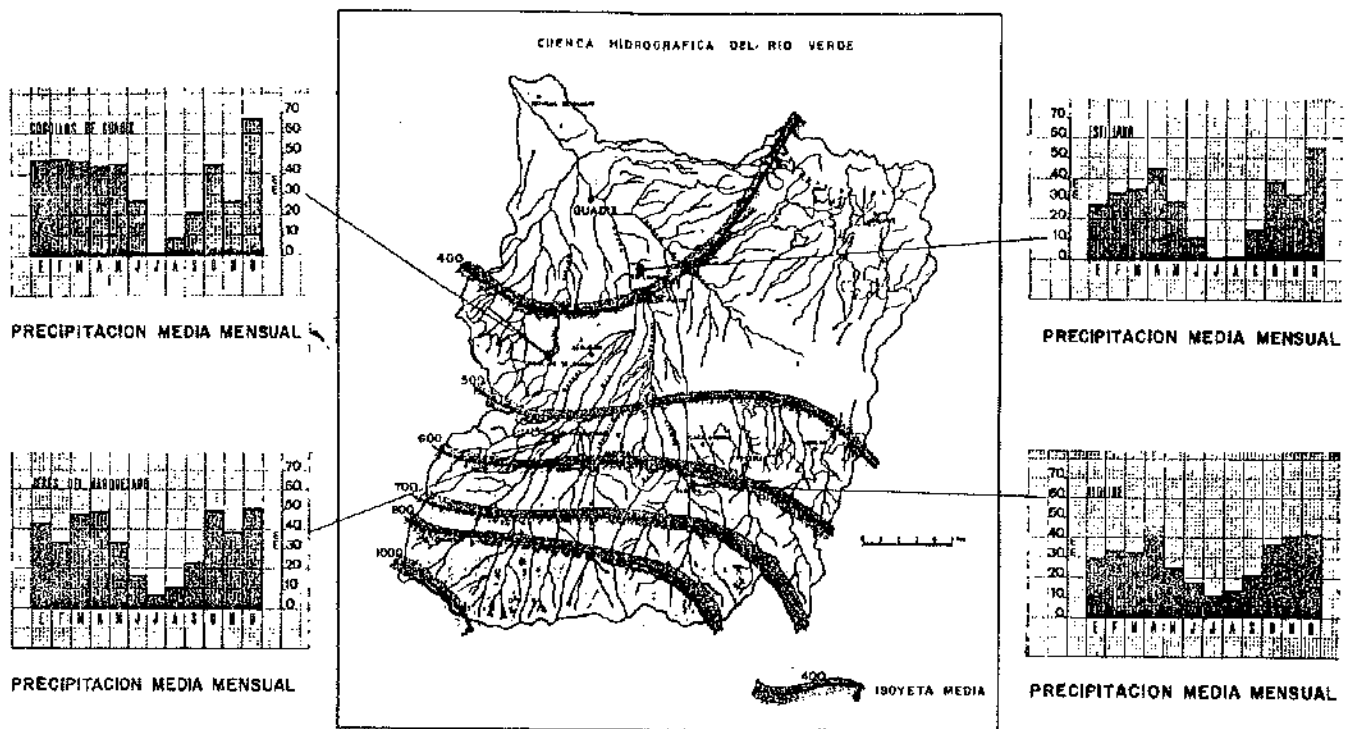


Fig. 4. Curvas isoyetas.

En ésta última, las precipitaciones ocurren, generalmente, en forma de nieve, la cual es la fuente de alimentación de los caudales superficiales de los cauces que descienden por la ladera impermeable de la Sierra, con régimen permanente, hasta alcanzar los conos de deyección y los aluviones. En este punto, el agua no utilizada por los agricultores para los regadíos, se infiltra fácilmente en el aluvión; en la llanura el régimen de circulación de agua en los cauces es solamente temporal, durante las crecidas.

La escasa lluvia que cae directamente sobre los aluviones se evapora en su mayor parte, y el resto se infiltra. Según el balance hídrico del suelo, el porcentaje de agua infiltrada es el 12% del valor de la lluvia, y esta infiltración tiene lugar durante los meses de Enero a Abril.

En estas condiciones, los cultivos de regadío intensivo están localizados en las vegas al pie de las laderas de la Sierra, sobre los conos de deyección, donde se utiliza la mayor parte de las aguas derivadas de los cauces. En el llano, la agricultura se caracteriza por el sistema de riego eventual, generalmente de Marzo a Junio, a partir de las aguas superficiales no utilizadas en las vegas, y distribuidas por una red de acequias, en su mayor parte, no revestidas.

Terreno	Permeabilidad (m/día)	Transmisividad (m ² /día)	Coefficiente de Almacenamiento
Caliza	50 - 100	800 - 2500	5 %
"Rubial" y Mineral	0,01 - 0,005		
Aluviones	kh: 0,5 - 5 kh: 0,05 - 01	50 - 150	4% - 12 %
Sedimentos Aluviales	10 - 40		

Tabla I. Resumen de las características hidráulicas.

Esquema de funcionamiento hidráulico

La tabla II resume el balance hidráulico de la cuenca del río Verde, según los distintos componentes que constituyen las ENTRADAS y SALIDAS, y pone de manifiesto la importancia relativa de cada uno de ellos.

A escala de la cuenca, el funcionamiento hidráulico subterráneo viene determinado por los niveles de alimentación y de descarga. La alimentación principal procede de la infiltración de la escorrentía superficial de los bordes montañosos, mientras que los terrenos aluviales del cauce del río Verde constituyen el nivel de drenaje o descarga de la cuenca.

ENTRADAS	
Infiltración de las precipitaciones	13
Infiltración en cauces	26
Infiltración en regadíos	12
Total	51
SALIDAS	
Surgencias	25
Bombeos	19
Salidas subterráneas	5
Consumo de "freatofitas"	1
Total.	50

Tabla II. Balance hidráulico de la cuenca del río Verde ($\text{Hm}^3/\text{año}$).

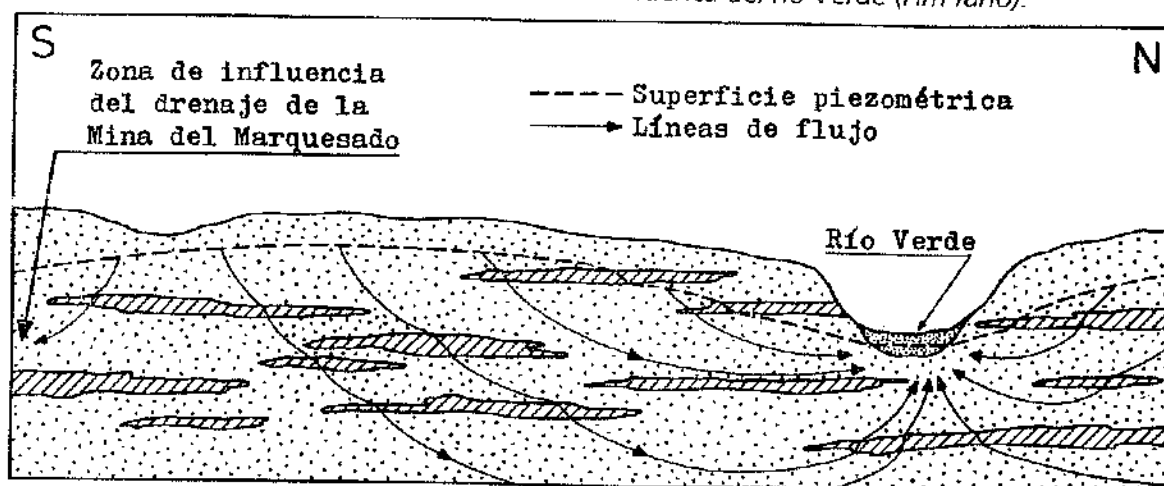


Fig. 5. Esquema general de flujo subterráneo.

El sistema general de flujo subterráneo es el representado en el figura 5.

A escala del yacimiento, en el borde de Sierra Nevada, los aluviones tienen el mismo comportamiento, con la diferencia de que, en la parte alta de su curso en terrenos permeables, el río Verde funciona también como nivel de recarga, y que la presencia de la caliza del yacimiento modifica localmente el sistema general de flujo. En efecto, el acuífero calizo, de características hidráulicas más favorables, es alimentado en profundidad por los aluviones que lo recubren, actuando como un sumidero en el seno de los aluviones.

Como se ha indicado, el componente principal de la alimentación subterránea es la infiltración del agua en los cauces, cuyo valor es de $26 \text{ Hm}^3/\text{año}$. Conviene señalar aquí que, en el entorno de la explotación, tiene lugar casi el 50% de esta infiltración, correspondiente a los cauces del río Verde, la rambla de Lanteira y el barranco del Pueblo; y esta circunstancia es determinante de las condiciones poco favorables en que ha de realizarse el drenaje de los aluviones, como más adelante se explica.

Respecto a los sistemas de captación, inicialmente se bombeaba desde un albraque excavado en el punto más bajo de la cantera, mediante bombas de achique; pero este dispositivo presentaba numerosos problemas: cambios frecuentes de instalación, bombeo de aguas turbias, niveles de explotación inundados, etc. A partir de 1972, este dispositivo es reemplazado por sondeos de captación profundos, equipados con bombas sumergidas.

Desde entonces, unos pozos han sido sustituidos por otros nuevos, debido a las necesidades y evolución de la explotación. El bombeo es permanente y el caudal total extraído ha variado de manera a obtener un descenso del nivel del agua compatible con las necesidades de la explotación: en general, 5 a 10 m por debajo de la cota del último nivel explotado, y con una antelación de 3 a 4 meses para reducir el grado de humedad del mineral.

Dado que el gradiente del agua en las calizas es muy suave, en torno al 0,5%, la ubicación de nuevos pozos obedece, fundamentalmente, a dos criterios:

- Geológicos. El estudio de los testigos de la densa malla de sondeos mineros de reconocimiento, permite conocer la distribución y espesor de las facies de calizas más favorables para la captación de agua.
- De continuidad. Situándolos en aquellos lugares donde no interfieran con el desarrollo de la explotación, para que tengan la mayor duración posible.

Actualmente, los 5 pozos disponibles suponen una potencia instalada próxima a los 1500 CV, con una capacidad de bombeo de 430 l/s, aunque con sólo 280 l/s es suficiente para mantener el nivel del agua estabilizado y asegurar la explotación del nivel actual más profundo, cota 940. Esta sobrecapacidad del dispositivo ha permitido, en ocasiones, modular diariamente el bombeo en función de las horas valle, llano y punta, para reducir el costo de la energía.

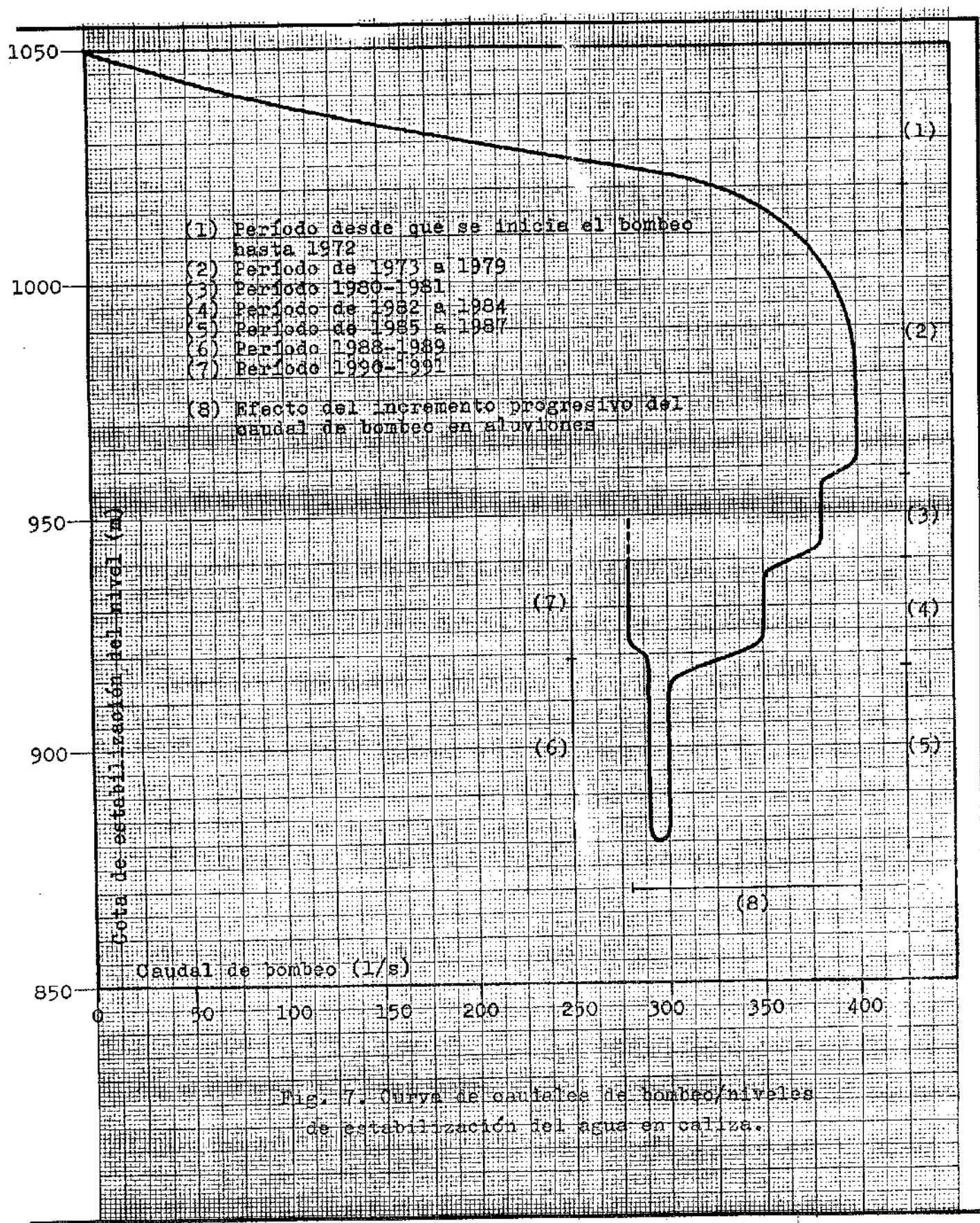
Consecuencia del desagüe de caliza

La larga experiencia del bombeo en caliza ha permitido establecer con bastante precisión la curva de caudales para las diferentes cotas de explotación, teniendo en cuenta que ya, temporalmente, se ha descendido el nivel por debajo de la cota 900.

Como muestra la figura 7, antes de iniciarse el bombeo en aluviones en 1979, el caudal máximo para mantener el nivel estabilizado a cualquier cota, por debajo de la 990, era de 400 l/s. Ello se debe a que el acuífero calizo tiene una geometría en forma de cubeta, limitada en su fondo por esquistos y cerrada hasta la cota 980, hacia el N de la explotación (figura 8), y, en consecuencia, las entradas de agua que recibe son limitadas, por su extensión y su geometría. Este límite son los 400 l/s, de forma que, por encima de este caudal se consigue descender el nivel, y por debajo, subirlo.

En tanto que el bombeo en aluviones intercepta un flujo que circula hacia la caliza infrayacente, el caudal extraído en los aluviones afecta al caudal de alimentación de la caliza, de manera que el caudal de estabilización en este acuífero (los 400 l/s), ha venido disminuyendo en la medida en que ha ido aumentando el caudal en los aluviones, como indica la figura 7.

Por otra parte, el bombeo en caliza ha supuesto la separación de dos niveles piezométricos bien diferenciados: Si en la situación inicial (figura 6), el nivel del agua en los aluviones coincidía



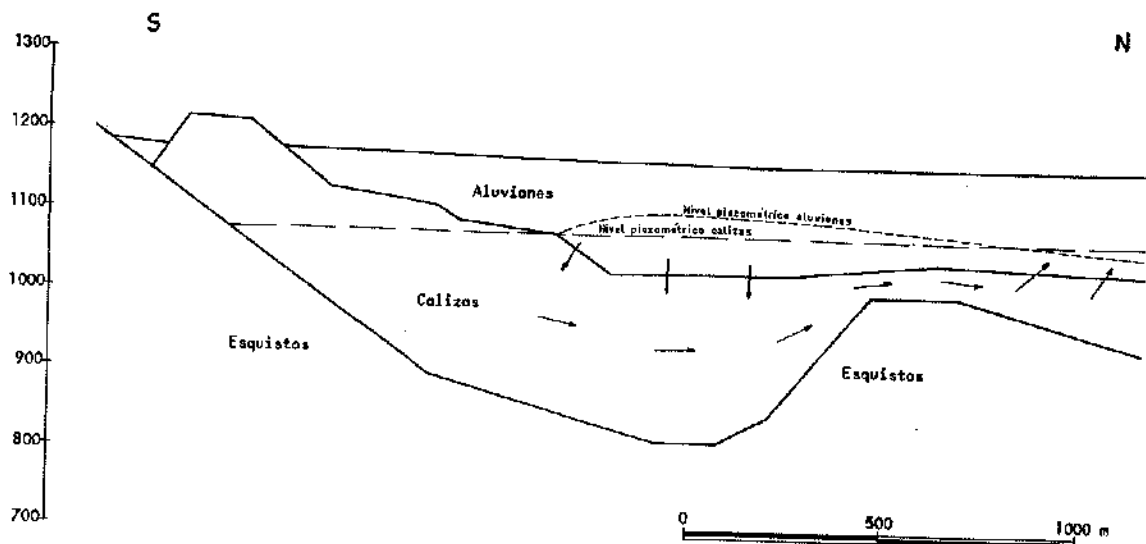


Fig. 8. Corte esquemático del yacimiento.

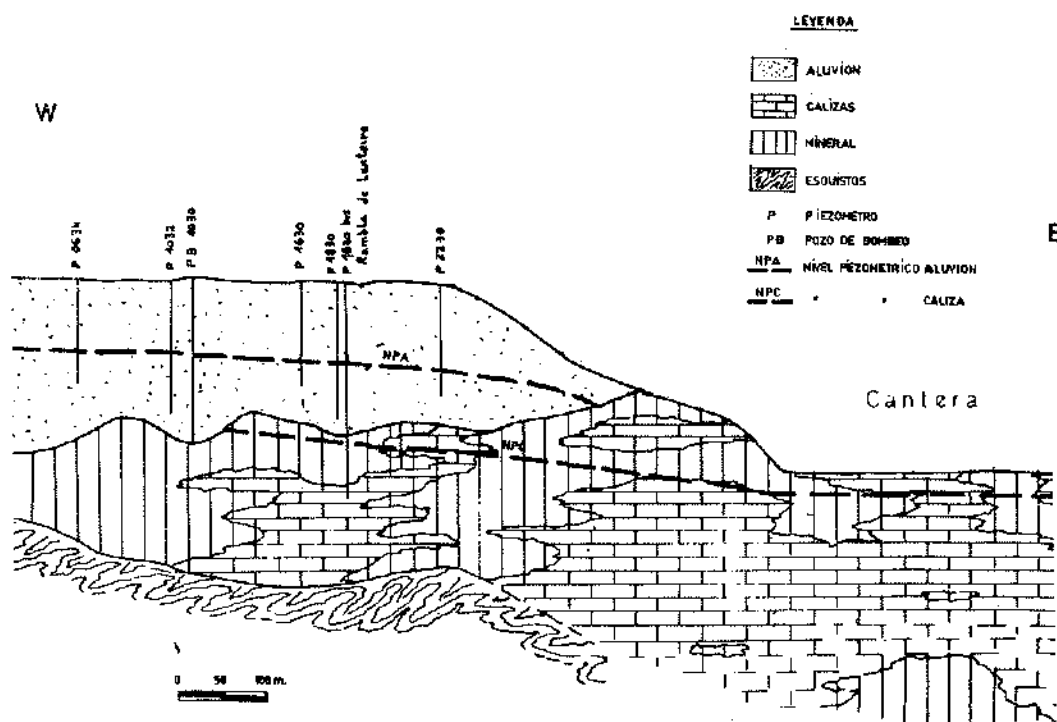


Fig. 9.

sensiblemente con el de la caliza, el bombeo en la caliza ha provocado el descenso del nivel en este acuífero, mientras el nivel de los aluviones ha permanecido en una situación sensiblemente igual a la inicial, colgado sobre el anterior (figura 9). Esta situación se explica por la diferencia de permeabilidad entre ambos acuíferos, la anisotropía y escasa permeabilidad vertical del aluvión, y la presencia, en el contacto, de mineral y rubial, que también dificultan el paso del agua hacia la caliza.

Es por ello que, a pesar de existir comunicación hidráulica entre los dos acuíferos, el drenaje de los aluviones es un problema que ha sido necesario tratar por separado.

Utilización del agua bombeada

La mayor parte del caudal bombeado de la caliza es vertido al río Verde, a través de la galería de desagüe. Una parte más pequeña, es elevada hasta la superficie para abastecimiento urbano y de las instalaciones de tratamiento mineral (figura 10). Desde 1985, también es evacuada al río Verde una gran parte del agua procedente del drenaje de los aluviones; otra parte es elevada hasta los municipios de Alquife y Lanteira, y, el resto, se utiliza en las instalaciones de tratamiento, para disminuir en lo posible el bombeo desde la caliza hasta la superficie. Todo el caudal vertido al cauce del río Verde queda a disposición de los agricultores, lo cual es motivo de permanente controversia sobre el derecho de utilización.

En relación con este uso del agua, son de gran interés las experiencias de recarga realizadas, de 1984 a 1989, por el ITGE, y que han constatado la viabilidad de recarga artificial del aluvial del río Verde: Dado el déficit de agua durante la época de riego, se trata de mejorar el aprovechamiento de los caudales vertidos a este río por la explotación minera, evitando cuantiosas pérdidas en el cauce y mejorando la regulación de los excedentes invernales.

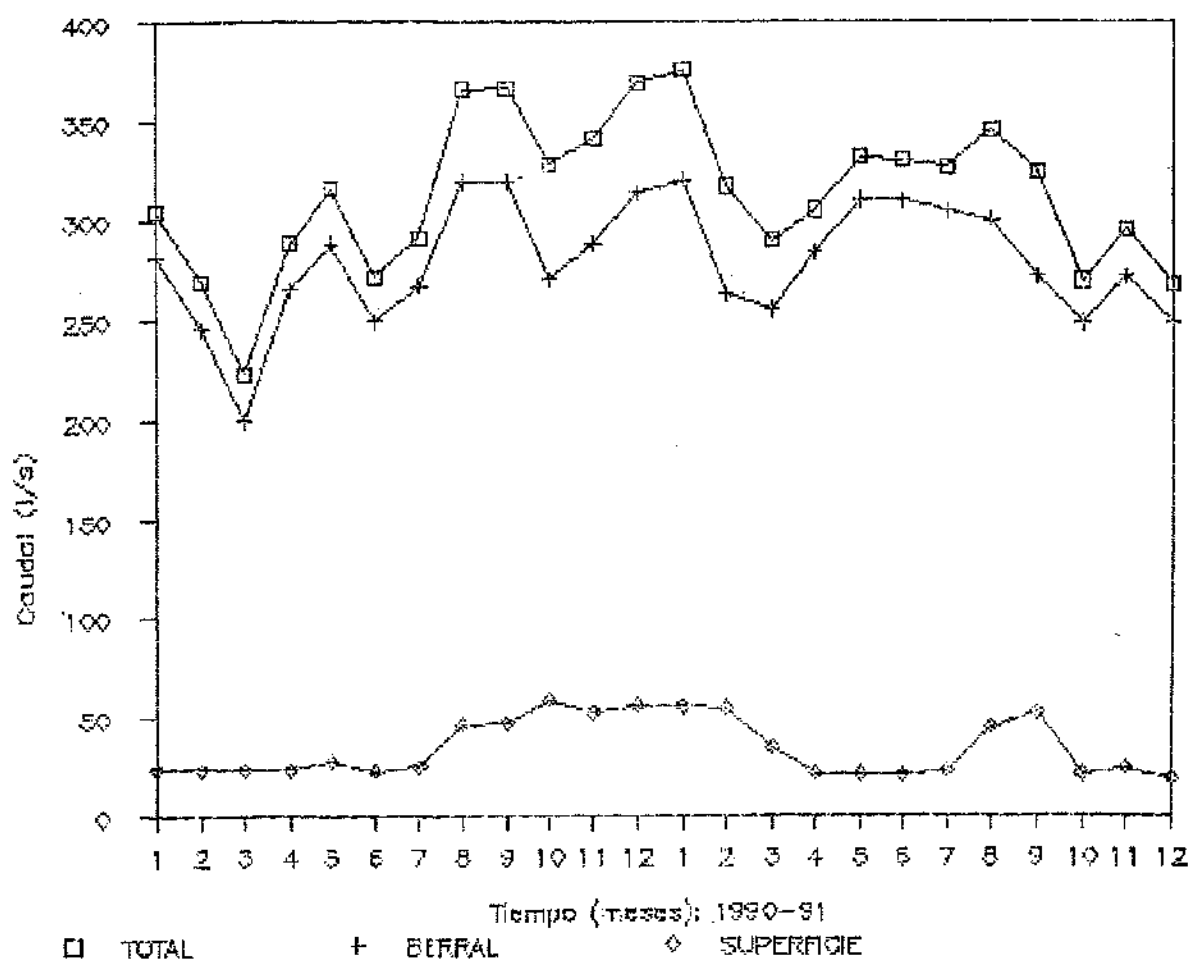


Fig. 10. Distribución del agua bombeada en caliza.

El agua utilizada para el tratamiento del mineral es posteriormente vertida a balsas de decantación de lodos, al NE de la explotación, donde se infiltra o se evapora. El eventual exceso de agua en estas balsas, una vez limpia, es conducida al cauce de la rambla de Benejar, donde se infiltra.

PROBLEMA DE LOS ALUVIONES SATURADOS

Consideraciones geotécnicas

Ya en 1962 y 1964, galerías de reconocimiento excavadas hacia el NW del yacimiento, desde la explotación subterránea, encontraron aluviones saturados que dieron lugar a importantes hundimientos y avenidas de lodo y barro dentro de las galerías, haciendo imposible su continuidad. A finales de la misma década, el desarrollo de la explotación a cielo abierto obligó a abordar por primera vez el problema de los aluviones saturados: La presencia de agua suponía un factor claramente desfavorable para la estabilidad de los paramentos en aluviones, que, en seco, soportaban sin dificultad taludes de 45 y hasta 50 grados.

Se trata, por tanto, de un problema geotécnico de estabilidad de taludes. Los niveles finos del aluvión, constituidos fundamentalmente por limos, presentan una composición mineralógica muy uniforme, donde la moscovita es el componente mayoritario, con escasa cementación acorde con casi la ausencia de finos arcillosos; en estos minerales micáceos, con estructura hojosa, la presencia de agua tiene el efecto de lubricante, con la consiguiente disminución de sus propiedades resistivas.

Los numerosos ensayos realizados sobre los aluviones, ya desde 1971, pusieron de manifiesto:

- Disminución entre 5 y 8 grados del ángulo de rozamiento interno y de hasta el 55 % de la cohesión, en estado de saturación, respecto al estado de humedad natural.
- Recuperación de sus parámetros resistentes al pasar de la saturación al estado de humedad natural.
- Necesidad del drenaje previo de los aluviones, antes de proceder a su desmonte y excavación de taludes.

Estudios y trabajos sobre el drenaje de los aluviones

Tras un ensayo de bombeo, realizado en 1970, que no consiguió sobrepasar los 2 l/s, se descartó, en principio, el abatimiento del nivel mediante bombeo.

El estudio del problema por parte de la Sociedad BURGEAP llevó, entre 1972 y 1976, a la implantación de un dispositivo de drenes verticales y piezómetros de observación, localizados muy próximos a la explotación (figura 11). Estos drenes, atravesando el aluvión, el rubial, el mineral y la caliza, facilitaba el paso del agua del aluvión hasta la caliza, por gravedad.

Sin embargo, este dispositivo no había de ser suficiente para las necesidades de drenaje, debido a varios factores:

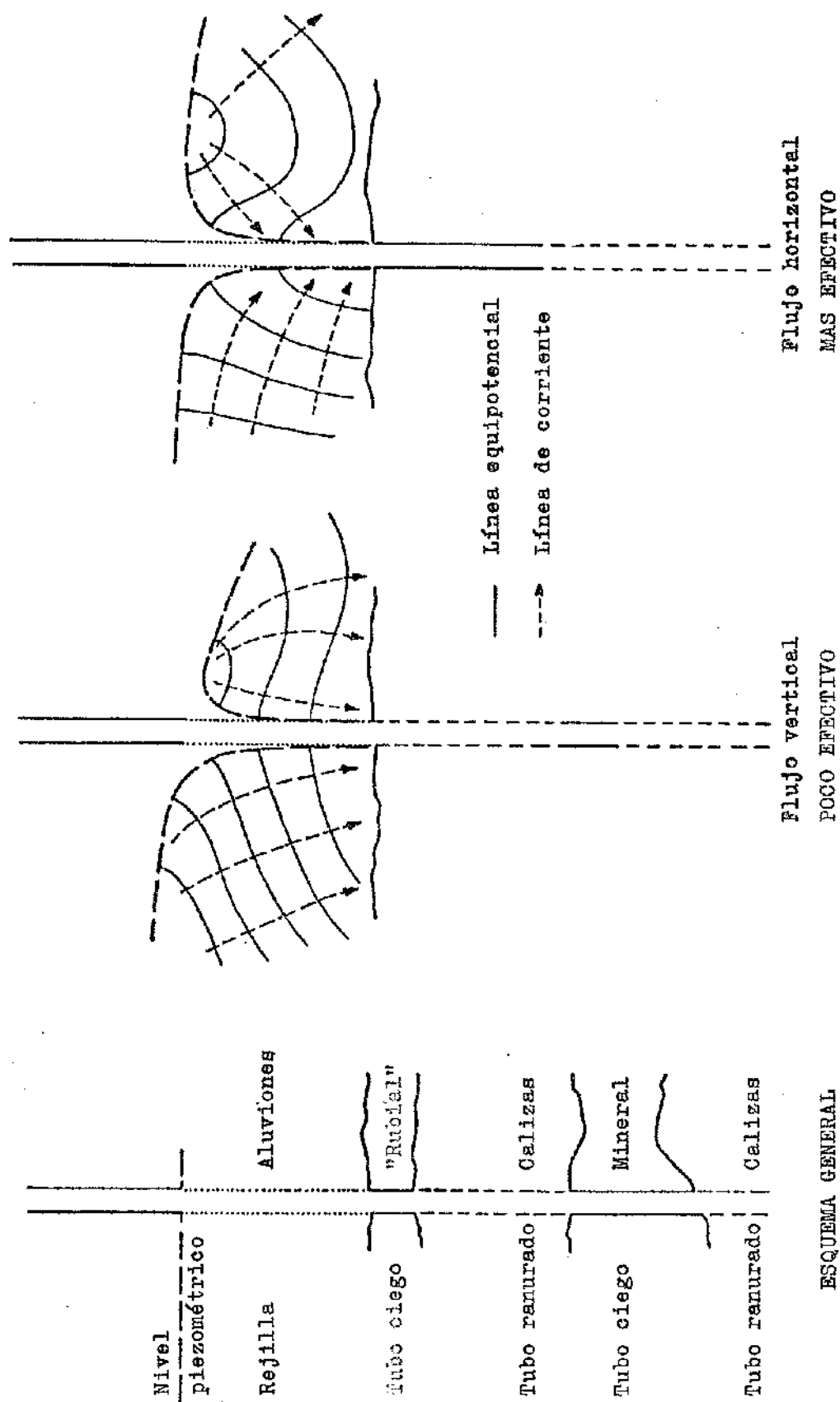


Fig. 11. Dispositivo de drenes verticales.

- Pequeños caudales por dren, del orden de 1 l/s, por estar ubicados donde predomina la componente vertical del flujo subterráneo, y, por tanto, escasa influencia en el descenso de la superficie piezométrica.
- Problemas de ubicación, debido a que la caliza infrayacente desaparece hacia el W.
- Agotamiento de los drenes, y, en parte, destrucción progresiva por el avance de la propia explotación.

A partir de 1976, el drenaje del aluvión es abordado dentro del contexto de la hidrogeología regional, más allá de los límites del área de explotación, en base a un mejor conocimiento del funcionamiento hidráulico de los aluviones y de la distribución de sus características, obtenido gracias a la gran ampliación experimentada por la red piezométrica. El drenaje, entonces, se planteó teniendo en cuenta dos aspectos fundamentales: La alimentación hidráulica de este sector del acuífero, y la convergencia del flujo subterráneo hacia las calizas del yacimiento (figura 12).

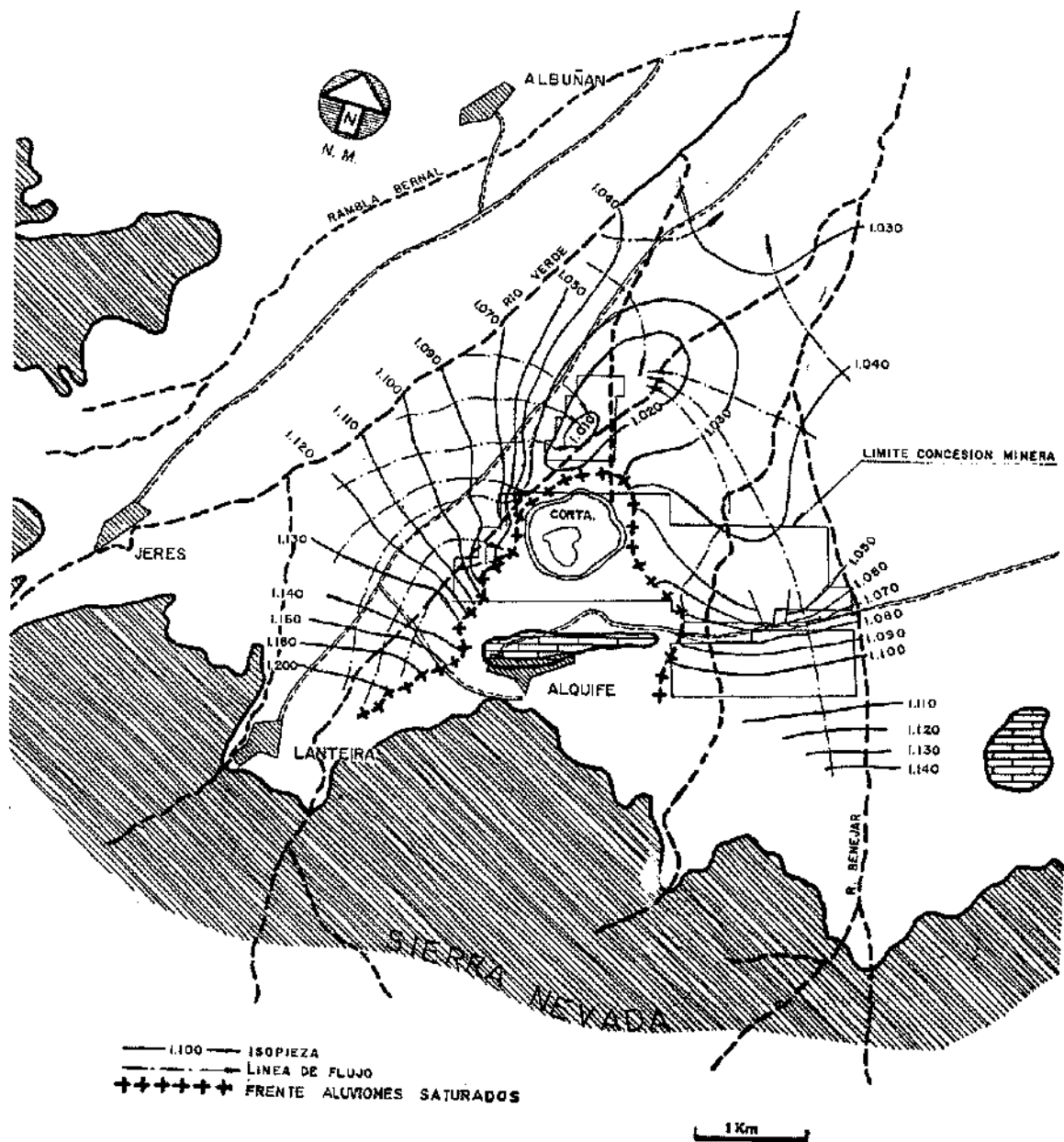


Fig. 12. Esquema de flujo en el entorno de la explotación.

En 1977, la Escuela de Minas de París y la Escuela de Minas de Madrid hicieron un estudio conjunto sobre la estabilidad de taludes y drenaje de aluviones, mediante un modelo matemático multicapa. Como conclusión, se pone nuevamente de manifiesto la imperiosa necesidad del drenaje del aluvión antes de su desmonte, y como dispositivo propone una galería periférica a la explotación, excavada en los esquistos, y una serie de drenes verticales conectados con ella (figura 13).

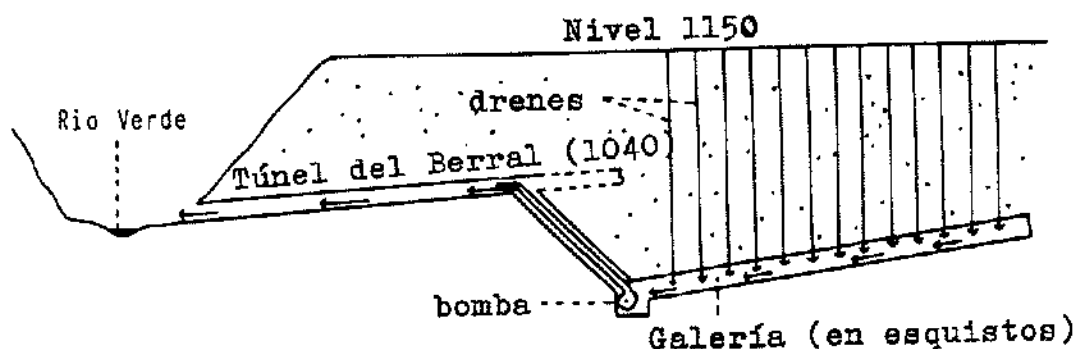


Fig. 13. Esquema del dispositivo propuesto.

En plan experimental, en 1978, se excavó una galería a la cota 1030 que, partiendo de la cantera en caliza-mineral, había de llegar a la proximidad del aluvión saturado para, allí, instalar drenes subhorizontales y verticales, con objeto de comprobar la eficiencia de este dispositivo y la dificultades técnicas de su ejecución. Sin embargo, cuando la galería se encontraba aún en mineral, con 142 m de longitud se produjo un primer hundimiento por la proximidad del agua del aluvión; los sucesivos hundimientos y continuas avenidas de lodo, condicionaron la paralización de los trabajos.

También, en 1978, con los conocimientos de las investigaciones realizadas, se perforó un pozo de bombeo en aluviones, cuyo aforo dio 40 l/s.

Estas dos circunstancias anteriores hicieron que, a partir de ese año, el drenaje del aluvión se enfocara, fundamentalmente, bajo la perspectiva de pozos de bombeo.

En 1979, la Sociedad INTECSA, que había colaborado anteriormente en el estudio de la geotecnia de los aluviones, analizó, mediante un modelo matemático monocapa, la influencia de una barrera de pozos sobre los niveles piezométricos. La conclusión obtenida fue que, con una adecuada distribución de los pozos, combinada con otras obras complementarias, se podría drenar los ensanches de la cantera entonces previstos, en el plazo de 1-3 años.

Las obras complementarias se referían a: Controlar las infiltraciones en los cauces, principalmente, en la rambla de Lanteira, y a continuar el dispositivo de drenes verticales para favorecer el drenaje.

Respecto al control de las infiltraciones, INTECSA elaboró el proyecto de una presa en el cauce de dicha rambla para laminar los caudales de las crecidas y controlar los caudales de

escorrentía en terrenos impermeables, evitando su infiltración; y posteriormente, en 1985, redactó otro proyecto para la entubación de un tramo del cauce donde tiene lugar la mayor parte de las infiltraciones. Sin embargo, a pesar de los estudios y proyectos realizados, el control de las infiltraciones es un tema aún no resuelto actualmente, debido, sobre todo, a los condicionantes socio-políticos del entorno y su oposición a las correspondientes autorizaciones administrativas. Sólo se ha conseguido, con una importante participación económica de CAM, revestir las acéquias principales de las redes de riego, donde también eran cuantiosas las infiltraciones de agua.

En relación con la efectividad del drenaje mediante pozos de bombeo, INTECSA realizó dos nuevos modelos matemáticos en perfiles verticales, en 1979 y 1980, para definir la influencia del bombeo sobre el frente saturado y su evolución, llegándose a determinar, incluso, la velocidad de retroceso de dicho frente (figura 14). Otro modelo matemático bicapa, realizado por la Universidad de Granada, en 1980, también concluye con la posibilidad de drenaje del aluvión mediante pozos de bombeo.

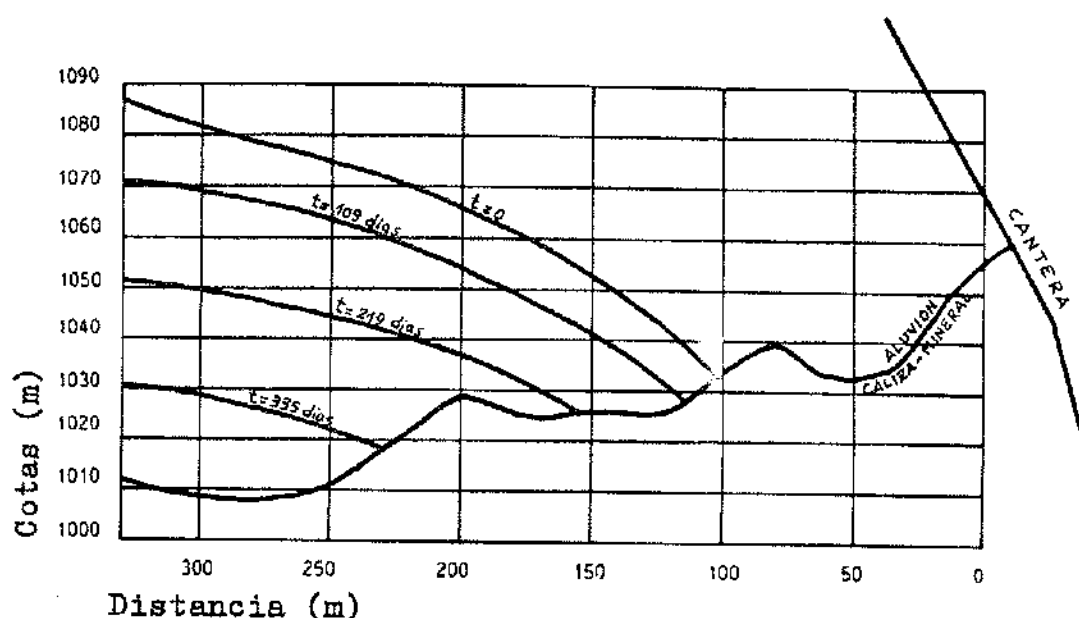


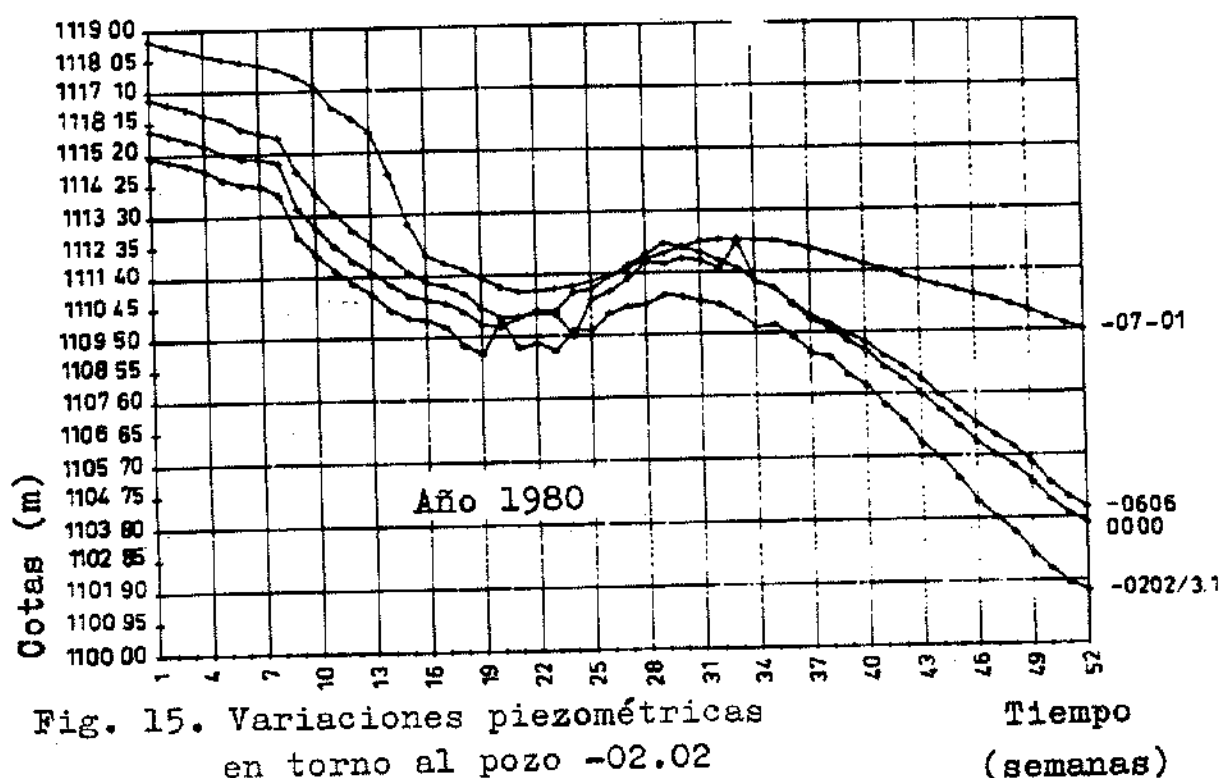
Fig. 14. Velocidad de retroceso del frente saturado.

Barrera experimental de pozos de bombeo. Primeras conclusiones.

En 1979 se puso en funcionamiento el primer pozo de bombeo (-02.02), y en 1981 entraron en servicio otros 6 pozos más, cuyas profundidades oscilaban entre los 150 y 190 m, y distanciados entre sí de 150 a 350 m; se configuraba así una primera barrera experimental de bombeo, periférica a la explotación por el W. En sus respectivos ensayos de bombeo, realizados por separado, los caudales de estos pozos fueron de 15 a 40 l/s, con un total de 180 l/s; todos ellos quedaron equipados con grupos sumergidos, de potencias entre los 60 y 120 CV. Previamente a su puesta en funcionamiento, fue necesario impermeabilizar más de 4 Km de acequias y canalizaciones, para evitar el retorno del agua de bombeo.

Durante el período de funcionamiento en solitario del pozo -02.02 (Junio 1979 a Julio 1981), se obtuvieron como conclusiones más importantes:

- El radio de acción del pozo alcanzaba a piezómetros situados a más de 500 m. de distancia, lo que hacía prever que los conos de depresión de pozos vecinos se interceptarían entre sí, modificando el flujo hacia ellos e interrumpiendo la circulación del agua hasta la proximidad de los paramentos.
- Este pozo, que interceptaba una parte del flujo subterráneo procedente de las infiltraciones en el cauce de la rambla de Lanteira, provocaba, por sí sólo, importantes descensos de los niveles piezométricos (figura 15).



- Su caudal y efecto sobre los niveles estaban íntimamente ligados al funcionamiento hidráulico de la citada rambla: De Abril a Julio, período en que las infiltraciones ocurridas en el cauce durante invierno y primavera alcanzaban el entorno de la explotación, el pozo trabajaba, fundamentalmente, contra los aportes de agua, y los niveles permanecían bastantes estabilizados; por el contrario el resto del año trabajaba contra el almacenamiento del acuífero, obteniéndose entonces los descensos más importantes (figura 15). Esta circunstancia ponía en evidencia, una vez más, el interés de evitar las infiltraciones en la rambla.

Del funcionamiento conjunto de la primera barrera de 7 pozos, a partir de 1981, se deducían las siguientes conclusiones:

- Los caudales de bombeo disminuían progresivamente, debido a la propia interferencia entre pozos y a la progresiva disminución del espesor saturado, tendiendo a la estabilización de caudales y niveles.

- La situación de «equilibrio» se alcanzaba en un período aproximado de 1,5 años, y el caudal de los 7 pozos se estabilizaba en torno a los 50 l/s.
- Los descensos piezométricos conseguidos con esta primera barrera variaron desde 30 m, en las proximidades de los pozos, hasta 5 m, en un radio de 500 m. Los mayores descensos se localizaban aguas abajo de la barrera, de manera que, la distribución de alturas piezométricas mostraba cómo el bombeo interceptaba en gran medida el flujo subterráneo.
- Como consecuencia de los descensos piezométricos, el frente saturado experimentó un retroceso entre 50 y 150 m, de Octubre 1980 a Octubre 1984 (figura 16).

Ampliaciones del dispositivo de drenaje

Aún estos resultados de la barrera experimental, a priori indicativo de las posibilidades de drenaje mediante bombeo, el dispositivo de los 7 pozos resultaba insuficiente para el drenaje global de los aluviones conforme a las necesidades de desarrollo de la cantera. Era necesario, por tanto, intensificar el dispositivo mediante la construcción de más pozos.

En 1983 se elaboró un programa de perforación de nuevos pozos, teniendo en cuenta las características hidráulicas y morfológicas del acuífero: Por un lado pozos de intercepción del flujo subterráneo (todos ellos pozos de bombeo) ubicados periféricamente, allí donde los parámetros hidráulicos eran más favorables y donde había mayores espesores saturados (zonas más deprimidas del muro del acuífero). Por otro, pozos de agotamiento (pozos de bombeo y drenes verticales) situados entre los anteriores y el frente saturado, para acelerar el descenso de los niveles en esa zona.

En 1984-85, con la colaboración de INTECSA, este programa fue simulado con el modelo matemático, tras haberlo ajustado previamente e introducido unas variaciones para adaptarlo mejor a las condiciones reales de la zona. Como resultado, se hicieron algunas modificaciones sobre la distribución de pozos inicialmente prevista.

En total, durante 1984 y 1985, se perforaron 19 nuevos pozos de bombeo y 14 nuevos drenes verticales, los cuales se iban poniendo en funcionamiento a medida que se iban construyendo. La puesta en servicio de este nuevo dispositivo, llevó consigo la instalación de casi 5 Km de líneas eléctricas hasta los respectivos centros de transformación de cada pozo, y más de 6 Km para la conducción y evacuación del agua extraída por bombeo; también, se incrementó la red de piezómetros de observación, para un mejor control del funcionamiento y eficiencia del dispositivo.

Aunque las características constructivas de estos pozos eran iguales a las de los anteriores, sus caudales unitarios, con valores comprendidos entre 1 y 18 l/s, eran ya más reducidos, debido a la mayor densidad e interferencia de pozos entre sí y a la progresiva disminución del espesor saturado.

Hacia finales de 1986, una vez que caudales y niveles tendían de nuevo a «estabilizarse», el caudal total de bombeo estaba sólo en torno a los 100 l/s. Es decir, el esfuerzo económico realizado con esta primera ampliación del dispositivo, incrementado de 7 a 40 pozos, con el consiguiente aumento de consumo energético, apenas si había duplicado el efecto producido por

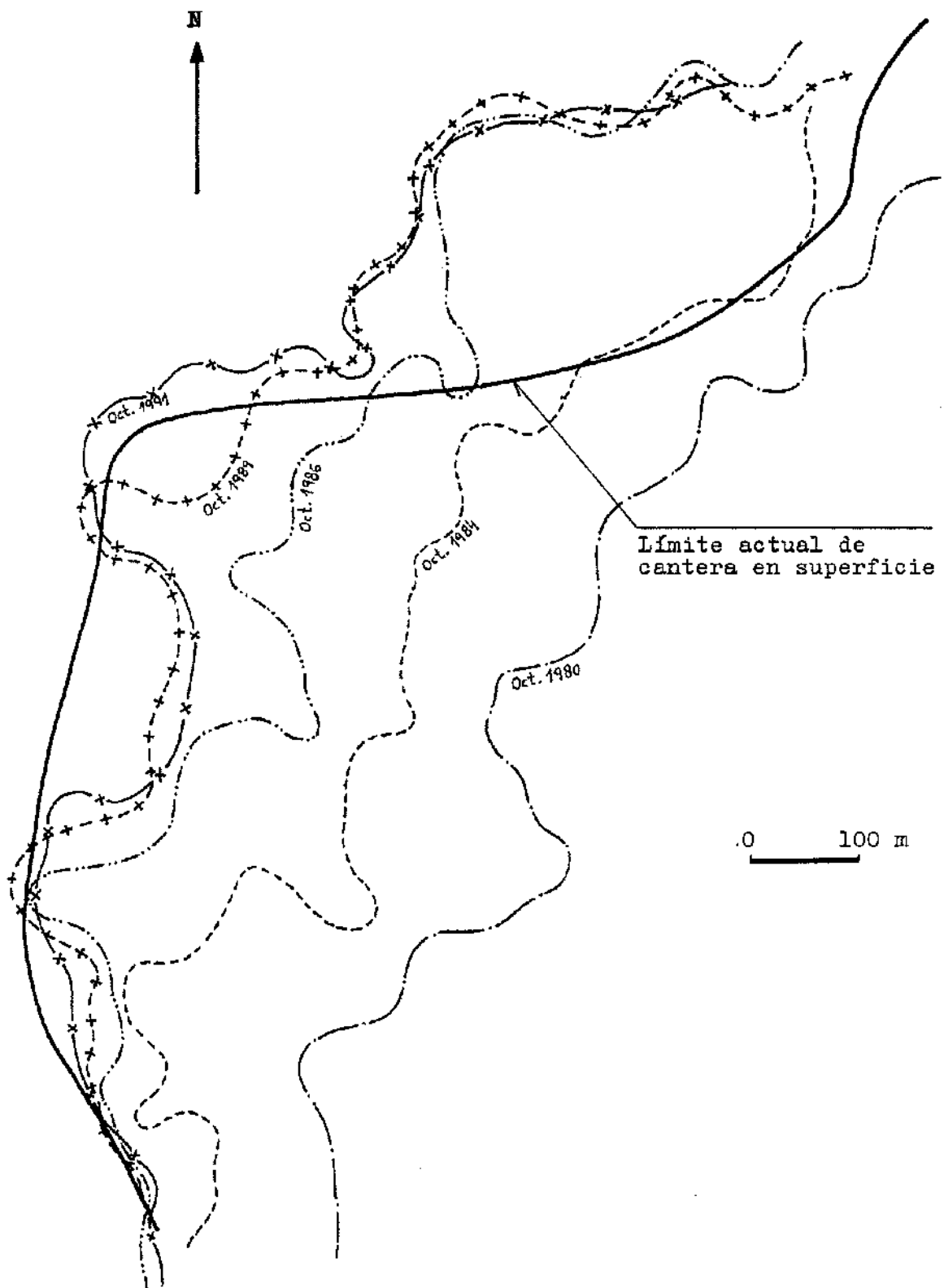


Fig. 16. Retrocesos del frente saturado.

la barrera experimental, como muestra el retroceso del frente saturado de Octubre 1984 a Octubre 1986, con valores de 50 a 200 m en este período (figura 16).

Hay que señalar, no obstante, que el retroceso del frente saturado no sólo depende de:

- Los descensos piezométricos producidos; también de la topografía del muro de los aluviones, que hacia el W, presenta zonas más deprimidas con pendientes más pronunciadas, de forma que, descensos apreciables, apenas si hacen retroceder el frente saturado.
- El caudal de los pozos; puesto que los descensos provocados por el dispositivo modifican localmente la red de flujo, concentrando mayor aporte de agua hacia la zona de drenaje.

Respecto a los aportes de agua, paralelamente a esta ampliación del dispositivo, continuaba el esfuerzo por conseguir el control de las infiltraciones, aunque sin resultado satisfactorio.

En 1987, con la participación de INTECISA y del especialista norteamericano T. A. PRICKETT, se realizó un detallado análisis de la situación y perspectivas del drenaje: No había otro dispositivo más aconsejable que el utilizado hasta entonces.

Una nueva actualización y ajuste del modelo matemático, incluída la ampliación de la zona modelada y la reducción del tamaño de la malla hasta 25x25 m en el área de drenaje, pusieron de manifiesto la necesidad de introducir algunas correcciones de los parámetros hidráulicos en profundidad; es decir, en general, la parte más profunda del acuífero, afectada ya por los descensos piezométricos, resultaba ser menos permeable y tener un menor coeficiente de almacenamiento.

Conforme a las nuevas simulaciones así realizadas, en orden al drenaje de los próximos ensanches programados, durante 1987 a 1989 se perforaron 5 nuevos pozos de bombeo, para mejorar la intercepción del flujo, y 23 nuevos drenes verticales.

El caudal total de bombeo, en 1989, se estabilizó en los 110 l/s, incrementándose sólo en 10 l/s respecto a 1986. Los caudales unitarios de los nuevos pozos eran cada vez más reducidos, a la vez que disminuían los de los pozos anteriores.

La influencia de los nuevos drenes verticales sólo se manifestaba apreciablemente allí donde las condiciones geológicas permitían ubicarlos en mayor densidad. Por otra parte, su contribución al drenaje está limitada en el tiempo por cuanto, dada su proximidad al frente saturado, con el retroceso del mismo quedan ya en aluviones secos.

Como resultado de esta nueva ampliación del dispositivo, se consiguió, de Octubre 1986 a Octubre 1989, un retroceso máximo, muy local, de 150 m; en gran parte, el frente saturado apenas si tuvo retroceso apreciable (figura 16).

De esta manera, las ampliaciones del dispositivo y sus resultados, pusieron de manifiesto la creciente dificultad del drenaje: Dado que cada vez hay que penetrar más en el seno del acuífero, el número de pozos necesarios tiende a crecer exponencialmente, con el consiguiente incremento de inversiones, costos energéticos y gastos de mantenimiento. En otras palabras, se puso de manifiesto un límite económico para la viabilidad de la explotación global de las reservas bajo aluviones saturados.

Situación actual del drenaje

En 1989 se plantea una nueva ampliación del dispositivo, pero esta vez ya con un objetivo muy concreto y más restringido, para atender las necesidades más inmediatas del desarrollo de la cantera. También, en esta ocasión el número y situación de pozos fue definido tras la correspondiente simulación matemática.

Pero este mismo año tuvo lugar un hecho que vino a comprometer más aún el drenaje de los aluviones. Debido a una mayor pluviometría y a la imposibilidad de controlar la escorrentía de la rambla de Lanteira, el agua circuló libremente por este cauce desde Octubre 1989 hasta Junio 1990. Ello dió lugar a la infiltración de 2 Hm^3 en el mismo área de drenaje, y a la consiguiente subida de los niveles piezométricos, con valores de hasta 30 m. (figura 17).

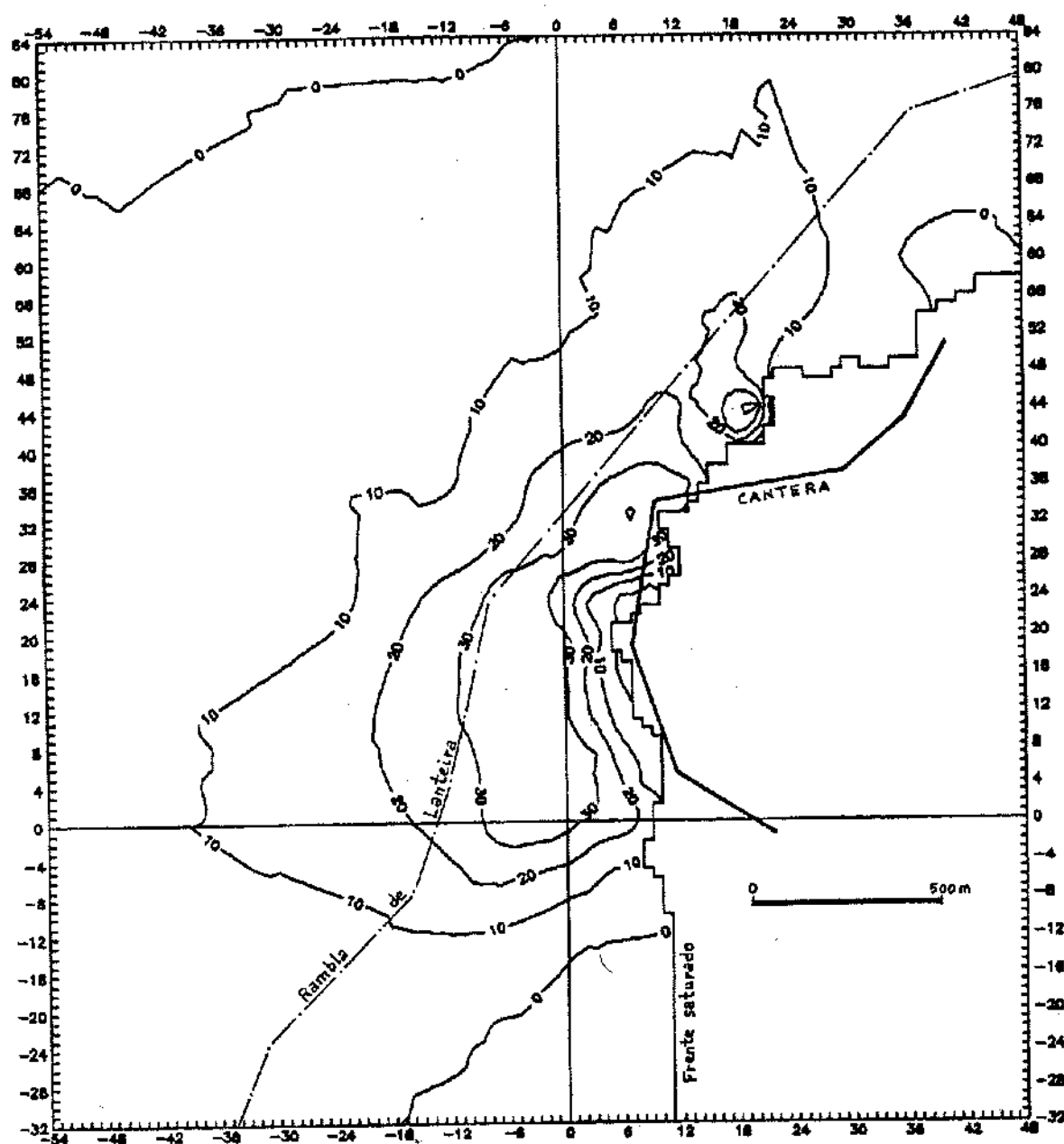


Fig. 17. Subida de niveles piezométricos (Oct. 1989-Jun. 1990).

W

E

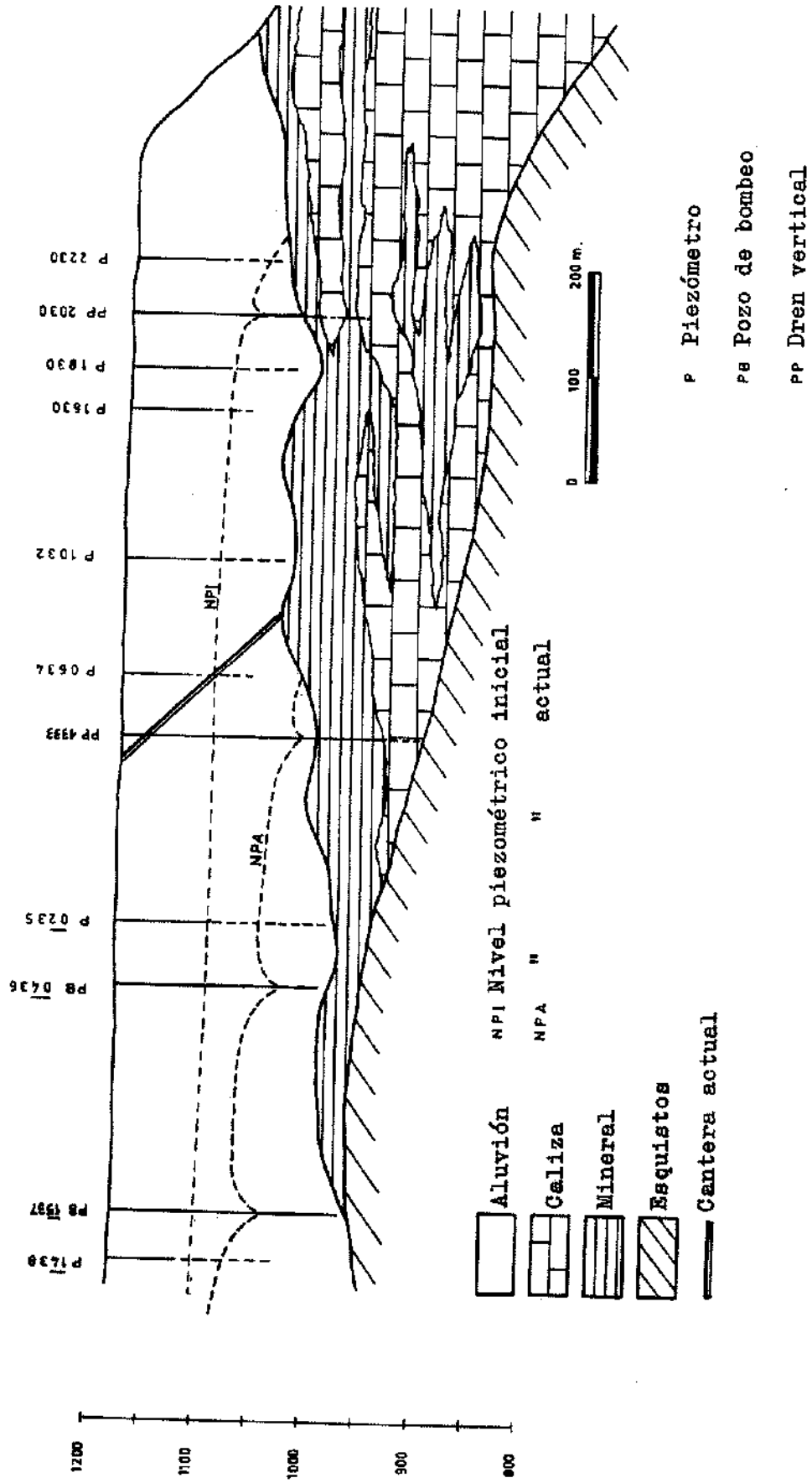


Fig. 18. Piezometría actual de los aluviones.

A esta circunstancia hay que añadir la destrucción, por un fuerte temporal, del puente de carga del embarcadero de Almería, que obligó a paralizar la actividad minera durante el primer trimestre de 1990, y a retrasar, por tanto, la construcción de los pozos previstos.

Durante 1990 y 1991 se construyeron 8 nuevos pozos de bombeo y 15 nuevos drenes verticales. Resultaba así que, desde 1979, se había construido un total de 39 pozos de bombeo y 52 drenes verticales.

El caudal total de bombeo experimentó un incremento considerable, llegando hasta los 160 l/s, pero más por el aumento general del caudal de todos los pozos (debido al incremento del espesor saturado), que por el caudal unitario aportado por los nuevos, cuyos valores oscilaron entre 1 y 10 l/s. Dicho caudal disminuyó progresivamente, conforme descendían los niveles, hasta situarse en torno a los 120 l/s a finales de 1991.

El resultado conseguido con los nuevos pozos está enmascarado por el exceso de agua y la subida de niveles, puesto que aún, actualmente hay piezómetros donde el nivel está a mayor cota que en Octubre de 1989. No obstante, en la figura 16 se observa el escaso o nulo retroceso del frente saturado desde Octubre 1989 a Octubre 1991, y el perfil de la figura 18 muestra la piezometría de los aluviones, en relación con la cantera actual.

Esta situación ha obligado, como en otras ocasiones, a modificar los programas de explotación, para adaptarlos a las posibilidades que permite la situación del frente saturado.

CONCLUSION

La realización y el mantenimiento del dispositivo de drenaje que se ha descrito, tiene un peso económico cada año más importante, y, que actualmente, rebasa las posibilidades financieras de la explotación.

Durante un primer período (aproximadamente 1979-1986), el sistema se comportó eficazmente, produciendo un retroceso claro del límite geométrico de saturación.

A partir de la última fecha, y a pesar de las intensas inversiones realizadas, el retroceso del frente saturado se ha visto seriamente frenado, como si se estuviese llegando a un límite asintótico del mismo. Incluso, se han producido solapes entre isopiezas de años consecutivos.

Es evidente que, al aproximarse a zonas, por una parte más profundas (y, por consecuencia, con mayores espesores de aluviones saturados), y, por otra parte, sin caliza infrayacente (contactos sólo con mineral y esquistos), se limita la eficacia de los drenes verticales, y la multiplicación excesiva de los pozos de bombeo es una alternativa económicamente inviable.

Por esta razón se está estudiando un nuevo proyecto, en colaboración con nuestros dos asesores INTECSA y BOSISA. Un condicionamiento fundamental de este proyecto consiste en lograr que se reduzcan al mínimo las infiltraciones en los conos de deyección y los cauces. Este condicionamiento exige una mejor ordenación de las aguas de riego de los cultivos existentes en la zona, para lo cual es necesaria la colaboración de los propios agricultores y de la Administración competente.

Entre tanto, es necesario seguir bombeando a un fuerte ritmo, por motivos de seguridad, y mantener un estricto control de las posibles evoluciones del frente saturado.

BIBLIOGRAFIA

BURGEAP. (1970). «Les problèmes de l'eau dans l'exploitation de la carrière du Marquesado. Etude préliminaire». CAM. Informe interno.

BURGEAP. (1972). «Les problèmes de l'eau dans l'exploitation de la carrière du Marquesado. Perspectives après les premières reconnaissances effectuées». CAM. Informe interno.

BURGEAP. (1974). «Carrière de Marquesado. Note sur les dispositifs de drainage des alluvions et d'exhuare». CAM. Informe interno.

CHICA, M. (1980). «Estudio geoestadístico de niveles piezométricos en las Minas de Alquife (Granada)». CAM. Informe interno.

DELGADO, S., MEDINA, F. (1983). «Aplicación de la simulación matemática al drenaje de la Mina del Marquesado». III Simposio de Hidrogeología. 103-113. Madrid.

DELGADO, S., DEL VALLE, M., FERNANDEZ, F. (1983). «Problemática y gestión de los recursos de agua subterránea en la región de Guadix (Granada)». III simposio de Hidrogeología. 173-179. Madrid.

DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES, S.A. (1977). «Galería piloto para drenaje de aluviones». CAM. Informe interno.

GORDILLO, A. (1974). «El problema general del desagüe». CAM. Informe interno.

ITGE. (1991). «Tecnología básica de la recarga artificial de acuíferos». Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.

INTECSA. (1973). «Informe sobre la corta de la Mina del Marquesado. Estudio del talud en aluviones». CAM. Informe interno.

INTECSA. (1978). «Estudio del drenaje de los aluviones. Avance de los resultados de los trabajos realizados entre Junio y Octubre de 1978. CAM. Informe interno.

INTECSA. (1979). «Informe sobre los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para la geotecnia de los aluviones de la Mina del Marquesado». CAM. Informe interno.

INTECSA. (1979). «Estudio del drenaje de la Mina del Marquesado. Resultados de la simulación del perfil número 1». CAM. Informe interno.

INTECSA. (1979). «Proyecto de desvío de la rambla de lanteira. Informe hidrológico. Estudio de máximas avenidas». CAM. Informe interno.

INTECSA. (1979). «Proyecto previo de la presa de Lanteria». CAM. Informe interno.

INTECSA. (1980). «Estudio del drenaje de la Mina del Marquesado. Resultados de la simulación del perfil número 2». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1977). «Primera interpretación de los datos obtenidos de la investigación piezométrica de los aluviones en el sector SW de la explotación minera (rambla de Lanteira)». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1978). «Ejecución y ensayo de bombeo del pozo -02.02 perforado en aluviones». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1981). «Interpretación y primeras conclusiones de los resultados de la barrera de pozos de bombeo». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1982). «Proyecto sobre la construcción de un dique en el cauce de la rambla de Lanteira. Ensayos hidráulicos». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1983). «Análisis histórico, nuevos datos y perspectivas sobre el desagüe del acuífero calizo». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1985). «Escorrentía superficial de la rambla de Lanteira e infiltraciones con influencia sobre el área de drenaje». CAM. Informe interno.

MEDINA, F. (1988). «Proyecto de aprovechamiento del agua de los aluviones para abastecimiento de la demanda de agua industrial CAM». CAM. Informe interno.

OBRAS SUBTERRANEAS, S.A. (1977). «Drenaje por galerías en aluviones húmedos». CAM. Informe interno.

STREIFF, C., RICCI, G. (1977). «Problèmes de l'eau et tenue des parements dans la mine à ciel ouvert du Marquesado. Etude de la stabilité des parements». CAM. Informe interno.

YAGGE, A. (1980). «Simulación de l flujo subterráneo en el área de la explotación minera de Alquife (Granada)». Tesis Doctoral - Universidad de Granada. 184-288. Granada.

DEPURACION DE LAS AGUAS DE MINA. LIGNITOS DE MEIRAMA

Ponente:

D. Fernando Herranz Villafruela



INTRODUCCION

La minería siempre ha estado catalogada como una industria de las más contaminantes, olvidándose a veces de extensas áreas menos llamativas pero con grandes cargas de contaminación, y sirva como ejemplo zonas agrícolas, que llevan desechos ganaderos, efluentes de ensilajes, así como cantidades importantes de nitratos procedentes de fertilizantes que finalmente producen una gran contaminación de aguas.

Es evidente, que todas las aguas finalmente van a ir a parar a ríos, lagos y mares que proporcionan: agua potable y de uso industrial, es hábitat de peces y otras especies acuáticas y son en muchos casos zonas deportivas y de recreo. Por todo ello, parece lógico que se adopten medidas adecuadas, para la regulación de actividades contaminantes, que permitan preservar de forma correcta la calidad del agua por razones de salud pública y medio ambiente.

En el caso de LIMEISA las aguas procedentes del área minera se vierten en dos cuencas, una que sirve como alimentación del agua potable de la ciudad de LA CORUÑA y la otra que finalmente desemboca al río Tambre que también aporta aguas a núcleos importantes de población.

LA EXPLOTACION DE LIGNITOS DE MEIRAMA

El yacimiento largo y estrecho (3,5 x 1 km) se encuentra enclavado en el valle de Meirama, situado a 25 km al SO de LA CORUÑA en el término municipal de Cerceda.

La mina se encuentra en explotación desde 1980, y los lignitos pardos en ella extraídos, sirven como abastecimiento de la Central Térmica de Meirama, propiedad de UNION-FENOSA, que tiene instalado un grupo de 550 MW de potencia.

2.1. Método de explotación

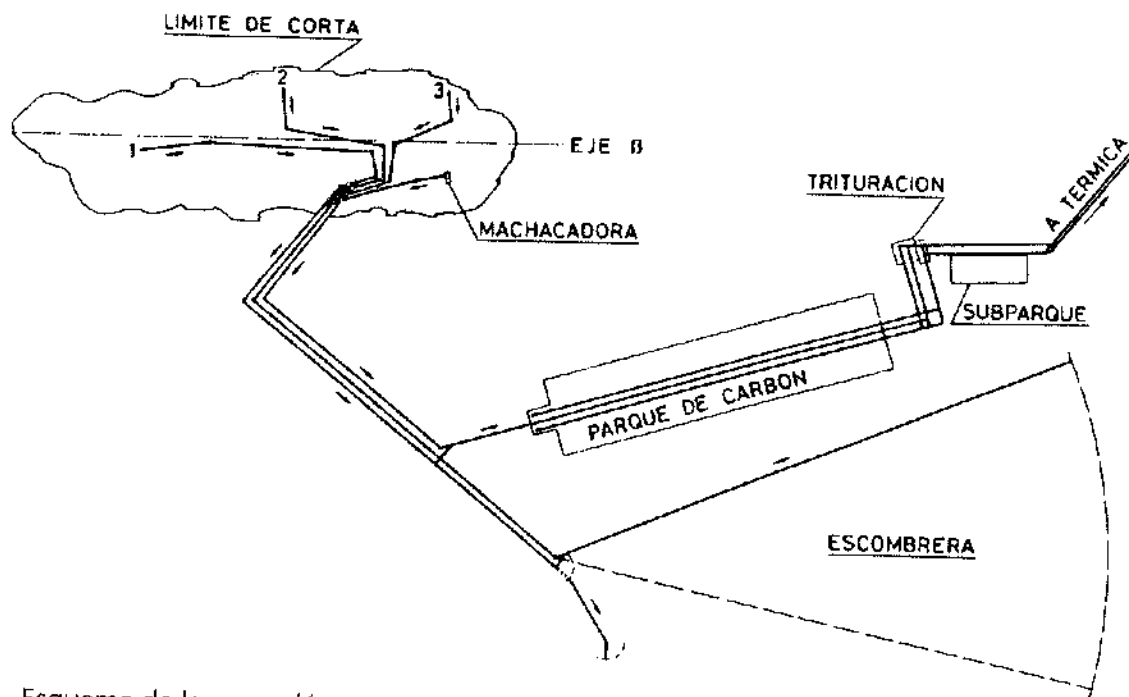
La excavación de materiales terciarios (lignito y arcilla) se lleva a cabo, con el sistema alemán de excavadoras de rodete y cintas transportadoras, mientras que las rocas que bordean el yacimiento se extraen con métodos clásicos de palas y volquetes.

El lignito es transportado por cinta hasta un parque de homogeneización de carbón, donde es extraído con recogedores de puente-rueda, triturado y enviado a Térmica para su consumo.

Los estériles arcillosos van a la escombrera general junto con una parte importante de rocas, previo machaqueo, por medio de cintas transportadoras y otra parte de las rocas se descargan en una escombrera que rellena huecos de la explotación, donde se ha extraído todo el carbón.

Como ritmo medio de explotación en estos años podemos dar:

Lignito	4.200.000 t/año
Arcilla	4.000.000 m ³ /año
Rocas	3.100.000 m ³ /año



Esquema de la operación, parque de Homogeneización y escombrera.

Es evidente que en una explotación a cielo abierto, situada en una zona de pluviometría elevada, el agua es un tema de gran importancia, llegando en años lluviosos a superar los cinco millones de m^3 de bombeo de mina.

EXPERIENCIAS SOBRE EL AGUA EN LA MINA DE MEIRAMA

La cuenca hidrográfica de Meirama ocupa una extensión de 33 km^2 , con precipitaciones anuales que varían entre 1.100 mm y 1.900 mm siendo la media anual desde el año 1975, que comenzamos las mediciones, de 1.500 mm .

Las precipitaciones mensuales son variables, destacando como época de lluvias la que va de Octubre a Febrero, en las que se superan los 150 mm/mes , habiendo llegado ocasionalmente a una máxima de 500 mm/mes .

3.1. Desvío del río Barcés

Por el valle, donde está enclavado el yacimiento, discurría el río Barcés, en el que desembocaban varios arroyos laterales.

Debido a la elevada pluviometría de la zona, se hacía imprescindible la construcción del desvío del río antes de comenzar la explotación, y evitar así el mayor aporte posible de aguas exteriores al perímetro de la mina.

Puesto que la diferencia de cotas existente entre el valle y los flancos era importante, se hizo necesario hacer la captación aguas arriba de la mina con dos canales, uno por el margen derecho de la explotación y otro por el flanco izquierdo, totalizando una longitud de canales de unos 9 km; 5,5 km por el margen derecho y 3,5 km por el izquierdo.

Para el estudio de estos canales, fue necesario recoger todos los datos de pluviometría existentes en las estaciones meteorológicas próximas al yacimiento, aplicando para el estudio de avenida máxima, un período de retorno de 50 años.

Como consecuencia del estudio de la superficie de las cuencas existentes en el área de influencia del yacimiento, el canal de la margen derecha comenzaba con una sección capaz para 15 m³/s y termina en una rápida que desemboca en el antiguo cauce del río Barcés, con sección capaz para 55 m³/s. El canal de la margen izquierda, comienza con tres emisarios, que captan tres arroyos existentes, que desembocan en el canal general con capacidad para 25 m³/s ya que recoge pequeñas vaguadas en su camino.

Los canales van revestidos con hormigón, para evitar las filtraciones hacia la mina, dada la fracturación y permeabilidad de las rocas de caja del canal.

3.2. Drenaje de aguas de mina

El área encerrada entre canales es de 3,4 km², lo que significa que para las pluviometrías de 1.500 mm/año existentes en esta zona, una cantidad de agua de lluvia cercana a los 5 millones de m³/año, que sumada a los 950.000 m³/año de aguas freáticas, medidas hasta la fecha, suponen la necesidad de un bombeo del orden de 650 m³/hora de media durante todo el año, al tener presente la evaporación y escorrentía por aplicación de un coeficiente del orden de 0,8.

Con el fin de facilitar el drenaje de todas las áreas de trabajo, hemos planificado la mina de tal forma que se ha dado una pendiente del 1 % ascendente a los bancos, a partir de una línea imaginaria que divide a la mina en 1/3 y 2/3 de su longitud total, donde están situadas las balsas de decantación y bombeo. Este sistema, que complicó el proyecto minero, ha resultado ser un éxito, puesto que permite tener las máquinas sobre pisos bien drenados.

Para laminar las lluvias puntas, realizamos balsas de al menos 50.000 m³ en el banco inferior al de trabajo, donde situamos bombas sumergibles que bombean el agua durante las horas en que el bombeo general está disponible, a fin de que permanezcan vacías, para que cuando la lluvia sea fuerte, actúen como depósitos reguladores en el caso de que el bombeo instalado sea insuficiente.

El bombeo instalado en la mina con capacidad para 8.000 m³/h y 3.200 KW de potencia es una de las instalaciones más importantes de la explotación, y está dotado de cuatro pontonas flotantes, previstas así para posibles inundaciones, que llevan instaladas cada una, dos bombas de 1.000 m³/h cada una, con motores de 400KW. Cada vez que se baja de banco esta instalación ha de cambiarse, puesto que acompaña a la explotación en su descenso.

Cada pontona situada en el nivel más bajo de la explotación, está unida a través de manguera flexible de alta presión a una tubería de 500 mm de diámetro que termina en un colector, desde donde parten dos tuberías de 800 mm de diámetro que van a parar a un depósito con capacidad para 4.000 m³, situado a la cota 165 en un banco intermedio que actúa como instalación fija. Esta instalación que tiene 8 bombas de 900 m³/h con motores de 500 KW eleva

el agua a dos balsas de 40.000 y 80.000 m³ situados a 105 y 125 m respectivamente por encima, y trabaja con un programa de ordenador, de forma que prácticamente a final del año todas las bombas han trabajado por igual y evitar desgastes excesivos en alguna de ellas.

Los depósitos interconectados entre sí, actúan como balsas primarias de decantación y homogeneización de la calidad del agua, sirviendo como regulación de la alimentación de la planta depuradora con capacidad para 1.800 m³/h.

3.3. Tratamientos de aguas de mina

3.3.1. Calidad del agua

Las características físico-químicas del agua, como consecuencia de la explotación, están sujetas a una disparidad de condicionantes, tanto por el movimiento de la maquinaria y la pluviometría como por la presencia de la superficie expuesta de lignito.

Las aguas provenientes del drenaje de la mina tienen una acidez con pH próximo a 5, cuyo origen queda determinado por la presencia de piritas, que en presencia de agua y oxígeno se oxidan dando ácido sulfúrico, que en contacto con las arcillas y lignitos de la explotación, disuelve diversos metales, hierro, manganeso, aluminio, calcio y magnesio principalmente.

Los factores indicados anteriormente actúan sobre el agua influyendo en su composición, encontrándonos con un agua cambiante de forma constante, de tal forma que en épocas estivales contiene una baja cantidad de sólidos, mientras en épocas lluviosas la concentración de sólidos en suspensión es muy alta.

3.3.2. Línea de proceso

El agua procedente de los dos depósitos de embalse y regulación, llega a la planta depuradora por gravedad, a través de una tubería que lleva instalada una válvula motorizada, con la cual es posible regular el caudal de entrada de agua de tratamiento.

Otra válvula de accionamiento neumático, instalada en línea con la anterior, está conectada al medidor de pH instalado a la salida del agua tratada, de tal forma que si hubiera un valor anormal, fuera de límites, o un corte de energía eléctrica, cerraría la entrada de agua a la planta.

De la arqueta de llegada el agua fluye a un canal PARSHALLFLUME con medidor de caudal, que es registrado y totalizado en la Sala de Control, permitiendo de esta forma dosificar los reactivos.

Después de este canal se encuentra el agua con un depósito de neutralización de dos fases, con dos agitadores con paletas tipo "sable" en cada fase, que aseguran una homogeneización del agua con el producto neutralizante, en nuestro caso cal, consiguiéndose en un tiempo de retención de 5 minutos a caudal máximo el valor de pH de neutralización requerido.

Adosado a este depósito se encuentra otro de menores dimensiones donde se reciben las aguas de recirculación a cabeza de tratamiento, tanto de recirculación de fangos del decantador como las aguas sucias producidas en el lavado de los filtros.



A la salida de la segunda cuba de neutralización, el agua pasa por gravedad a la cámara de aireación, donde por medio de cuatro turbinas de paletas, se realiza una oxidación sobre los componentes del agua susceptibles de oxidarse, durante un tiempo de retención de 30 minutos a caudal máximo. De esta forma conseguimos hacer decantables los metales pesados.

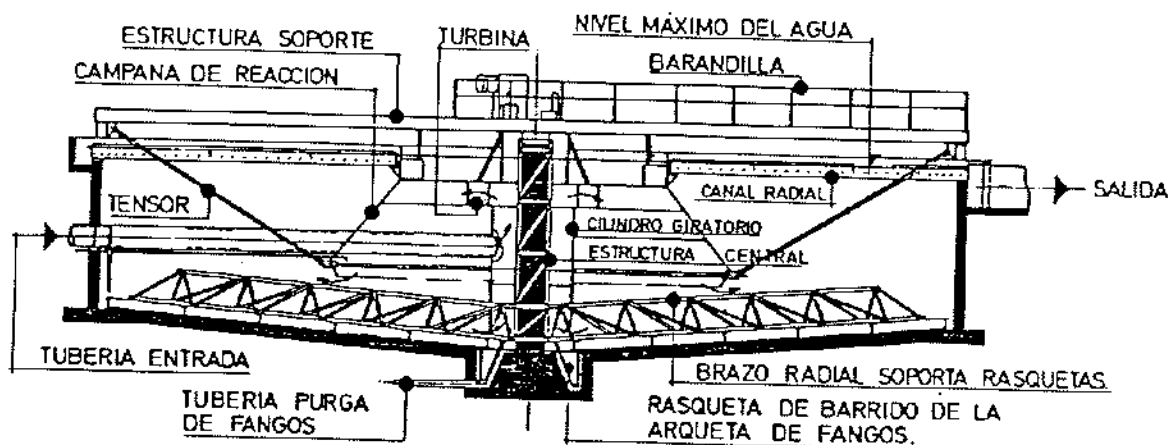
Por medio de un rebosadero, el agua cae en cascada a un canal-arqueta enviándose desde aquí por medio de tuberías a los decantadores-floculadores, dentro de la campana de reacción de los mismos.

Estos aparatos llamados decantadores-floculadores, por realizar las dos funciones de forma combinada, están contruidos con recirculación de fangos así como con purga continúa-discontinúa de los mismos. La zona de reacción se realiza en la campana, mientras la de decantación se realiza fuera de dicha campana diseñada en forma troncocónica.

En la zona de reacción, una turbina regulable en su velocidad de giro, crea una turbulencia y un efecto de succión para garantizar una mezcla homogénea entre el agua de entrada a la campana y el flóculo formado, lo que aumenta entre otros efectos el de decantación, formando un lecho de fangos en el fondo del decantador, que es barrido continuamente hacia el centro por medio de unas rasquetas, y por el cual atraviesa el agua depurada para que por rebose y a través de una canal llegue a la zona de distribución de agua a los filtros.

El barrido de lodos, realizado por las rasquetas, envía a éstos hacia una arqueta situada en el centro del fondo del decantador por donde pueden ser evacuados o enviados por circulación a cabeza de instalación.

En nuestro caso empleamos 2 decantadores de 25 m de diámetro con el fin de obtener una velocidad crítica próxima a 1 m/h.



Aunque la calidad del agua a la salida del decantador está dentro de la normativa vigente, dadas las características cambiantes del agua, y la necesidad de asegurar una agua limpia, se ha instalado una batería de cuatro filtros de arena, los cuales están adosados unos a otros, uniéndose los cuatro al canal de agua decantada; por su parte inferior discurre el agua de lavado y al otro lado del canal el agua filtrada, encima del cual están instalados los cuadros de mando y control automático de cada filtro.

La distribución de agua a cada filtro se realiza por medio de un control de diafragma calibrado, con posibilidad de obturación, para que cada unidad pueda quedar fuera de servicio por incremento en su pérdida de carga producida por la obturación del lecho filtrante.

Estos diafragmas garantizan una repartición equitativa del agua al encontrarse más de un filtro en funcionamiento.

El agua entra en los filtros por dos canales longitudinales al mismo. La filtración se realiza por el lecho de arena, de granulometría específica, en flujo vertical y hacia abajo, pasando el agua filtrada a una arqueta que la envía al canal, común a los cuatro filtros.

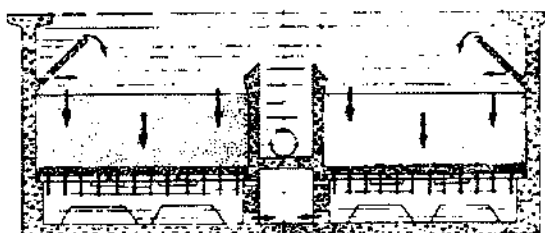
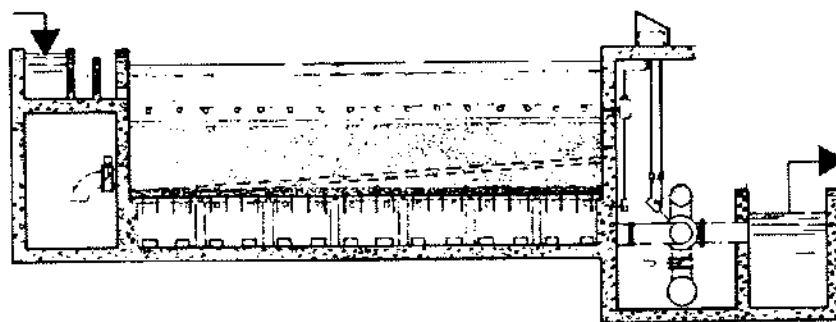
El diseño de los filtros al ser de alta carga de arena, evita la desoxigenación, además de conseguir un caudal de trabajo y un nivel constantes.

El lecho filtrante está soportado por un fondo de hormigón constituido por placas equipadas con boquillas FLEXKEEN de diseño especial, lo cual permite realizar el lavado de la arena que compone el lecho filtrante en flujo de contracorriente.

Por estas boquillas se colecta de forma uniforme el agua filtrada, así como la distribución del aire y agua necesarios para el lavado del filtro y que son aportados bajo el falso fondo por medio de una turbina y una bomba diseñadas para tal fin, siendo el aporte de agua para el lavado realizado desde una toma en el canal de salida de agua depurada y filtrada.

El agua del canal de salida de filtros pasa a un depósito en el cual se realiza un control de pH por medio de un pHmetro, conectado a una señal que excita una dosificación de ácido sulfúrico si fuera necesario, realizándose la agitación y homogeneización por medio de un agitador con palas tipo "sobre" de agitación rápida.

En caso de anomalía en el valor del pH del agua de vertido, un pHmetro instalado posteriormente en la cascada de vertido excitaría por medio de una señal tanto la alarma en el cuadro de control como el cierre de la válvula de seguridad de entrada de agua a la planta depuradora.



La sala de control general de la planta tiene instalado un cuadro-sinóptico, en el cual destaca el diagrama de flujo del agua, y que por medio de una serie de lámparas, indican en cada momento las situaciones de marcha de los equipos.

Próximo al sinóptico están instalados los registradores del caudal y de medidas de pH en diversos puntos.

La automatización de la planta ha permitido el que una persona sea capaz de operar la planta, pues cualquier emergencia es acusada en el pupitre de mando por medio de lámparas, acompañadas de alarmas acústicas, para asegurar la atención continua-discontinua sobre la marcha de la planta.

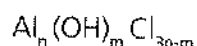
3.3.3. Productos y ensayos de tratamiento

A nivel de laboratorio se han realizado y se realizan pruebas con distintos tipos de productos de floculación y calidades de aguas, a fin de obtener las dosificaciones de tratamiento idóneas desde el punto de vista coste-calidad de vertido.

Después de una serie de pruebas, se han tomado los productos siguientes como más idóneos en la actualidad:

Lechada de cal, producto preparado a partir de cal apagada con una riqueza del orden de 40 a 50% en hidróxido de calcio, utilizándose como neutralizante de aguas ácidas.

Policloruro de aluminio, (coagulante) floculante primario, es un compuesto obtenido por síntesis a partir de alúmina, cloruro y agua siendo su composición un polímero de hidrato de aluminio ligeramente clorado y que responde a la fórmula genérica



Su característica más peculiar es su alto peso molecular y gran número de carga eléctrica positiva, que anula las cargas negativas existentes en las arcillas.

Polielectrolito aniónico, (floculante) compuesto polímero, orgánico, macromolecular, lineal y soluble en agua, es un producto de síntesis orgánica obtenido por medio de un proceso de polimerización de moléculas de acrilato sódico y acrilamida, tiene una gran cantidad de moléculas con grupos carboxílicos en forma sódica, los cuales le confieren una alta carga aniónica, que acelera la formación de flóculos.

En aguas poco cargadas de sólidos en suspensión, no se ha visto la necesidad de adicionar el polielectrolito como ayudante de decantación.

Con aguas de mayor carga la decantación se consigue por medio de la dosificación de 0,2 gr/m³ para los casos extremos.

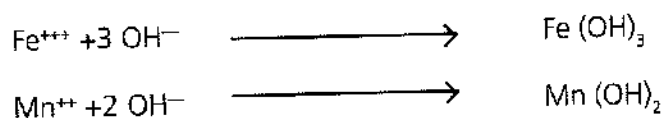
En cuanto al pH del agua depurada, la dosificación del policloruro de aluminio, al ser un producto de carácter ácido, realiza una neutralización del agua, adicional a su función floculadora primaria, quedando el agua de vertido dentro de valores de pH dentro de límites.

Estas pruebas fueron realizadas posteriormente a nivel de planta depuradora, para corroborar las pruebas de laboratorio y definir así la línea de tratamiento a emplear en la explotación de la depuradora de mina.

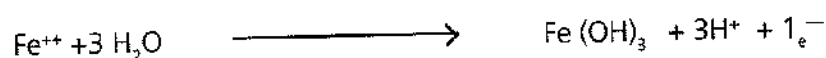
3.3.4. Línea de tratamiento actual de la depuradora de mina

Conocidos los medios mecánicos y los productos de tratamiento, la línea de depuración de las aguas de mina es la siguiente:

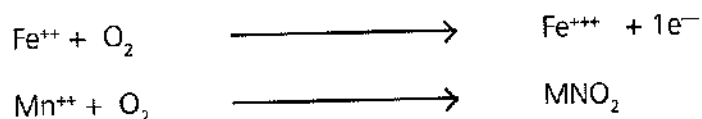
En la cuba de neutralización se adiciona la lechada de cal para conseguir de forma continua-discontinua y homogénea un valor del pH entre 8 y 10. Este valor del pH y la presencia de la lechada de cal provocan las reacciones



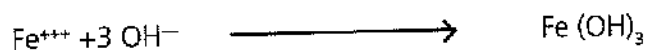
que en el caso de un alto potencial redox en el agua, se realiza una parcial precipitación del hierro ferroso



En la cuba de aireación y por efecto de la oxidación provocada por las turbinas, se produce la oxidación del manganeso presente



Este hierro oxidado a hierro férrico es precipitado por los grupos OH^- existentes en el agua.



La adición en el canal de rebose del depósito de aireación del policloruro de aluminio, flocula los precipitados coloidales y materiales en suspensión del agua.

Estas reacciones se completan durante el tiempo de paso del agua desde aireación hasta la campana de reacción del decantador, donde se unen con flóculos completamente formados, pero de un diámetro demasiado fino como para que se realice su decantación.

Directamente sobre el agua de superficie de la campana de reacción se dosifica el polielectrolito aniónico, para que por medio de la turbina de agitación éste se homogenice en toda la masa de agua, provocando el encadenamiento de los flóculos y realizándose la decantación de los mismos.

Después del tratamiento expuesto, el agua pasa por los filtros como garantía de eliminación de posibles arrastres de flóculos finos.

Finalizado el proceso, el agua es enviada al canal de la margen derecha de la mina, y por tanto al cauce del río Barcés.

Como media de los controles analíticos sobre el agua de vertido se expone un análisis del agua de salida de la planta.

pH	7,2	a	22°C
Sólidos en suspensión	4	mg/l	
Sólidos disueltos	-		
Sólidos totales	-		
Dureza total	124,5	mg/l	CO ₃ Ca
Cloruros	52,5	mg/l	Cl
Alcalinidad total	-		
Sulfatos	60,0	mg/l	SO ₄ ⁼
Fluoruros	0,01	mg/l	F ⁻
Amoníaco	0,00	mg/l	NH ₃
Nitritos	0,00	mg/l	NO ₂
Nitratos	4,70	mg/l	NO ₃ ⁻
Fenoles	0,00	mg/l	Fenol
Cianuros	0,00	mg/l	CN ⁻
Cianuros combinados	0,00	mg/l	CN ⁻
Oxidabilidad al permanganato	1,7	mg/l	O ₂
Oxígeno disuelto	5,00	mg/l	O ₂
Calcio	41,9	mg/l	Ca
Magnesio	5,3	mg/l	Mg
Manganeso	0,01	mg/l	Mn
Hierro	0,01	mg/l	Fe
Cobre	0,01	mg/l	Cu
Plomo	0,01	mg/l	Pb

PROTECCION DE AGUAS DE ESCORRENTIA EN ESCOMBRERAS

El vertido de estériles, necesario para la explotación de 4,2 millones de toneladas de lignito por año, se aproxima a 5 millones de m³ de arcillas y 2,5 millones de m³ de rocas.

En la escombrera dedicada principalmente a materiales arcillosos, el manejo se lleva con un apilador de orugas de 60 m de brazo cuyo tripper corre a través de una cinta transportadora de 1.600 mm de ancho y 2 km de longitud, que es desplazada en sistema polar, haciendo el relleno por delante de la cinta con profundidad variable, dependiendo de la topografía del terreno y por detrás del transportador con altura constante de 12 m.

Se puede comprender que dada la gran superficie ocupada por año, superior a las 20 Ha, estamos ante una zona altamente contaminante, pues no debemos olvidar que tanto la gran cantidad de arcillas caolinizadas como restos de lignito de zonas de difícil explotación selectiva, son materiales que aportan sólidos en suspensión y problemas de acidez.

Ante el problema de posible contaminación del río Postigo, donde van las escorrentías de la zona de escombrera, estamos empleando los siguientes métodos que evitan realmente toda posibilidad de contaminación:

- 1) Cuando el material contiene restos de lignito se hace una selección, de tal forma que queden enterrados con arcillas, a fin de evitar su oxidación y que en contacto con las aguas de lluvia den vertidos ácidos.
- 2) Las aguas de lluvia son controladas de la mejor manera posible haciendo drenajes que se ven favorecidos al dar al proyecto de la escombrera desde su origen una pendiente longitudinal del 1%, lo que favorece esta red de drenaje.
- 3) Las áreas finalizadas son recultivadas con plantaciones, a fin de reducir la velocidad del agua y aumentar la retención para favorecer la evaporación.
- 4) En épocas de verano se alisan los taludes con tractores para evitar las bolsadas de lodos.
- 5) Recogida de todas las aguas para tratarlas en una planta con capacidad para 1.000 l/s, donde el agua es depurada totalmente.

Como se puede apreciar los 4 primeros puntos son para evitar que las aguas vayan muy cargadas y que el coste de tratamiento resulte lo más económico posible, ya que los aditivos suponen el mayor costo del tratamiento de aguas.

Las pruebas de decantación, para evitar la depuración, han dado como resultado el no poder garantizar la calidad del agua en todo momento, ya que los coloides en suspensión necesitan un tiempo de decantación muy elevado, difícil de conseguir dadas las cantidades de agua en lluvias punta.

4.4.1. Tratamiento de las aguas de escorrentía en escombreras.

Como depósito regulador se ha construido una pequeña presa de esollera con capacidad para 100.000 m³.

La planta, construída cuando teníamos la experiencia del tratamiento de aguas de mina, solo se ha variado en cuanto a dimensiones se refiere y teniendo presente los productos de tratamiento a emplear.

Las aguas desde el depósito de regulación van por gravedad hasta la entrada de la planta, pasando por el medidor de caudal, depósito de neutralización, aireación, decantadores-floculadores y filtros.

Los dos decantadores de 30,5 m de diámetro son de arrastre periférico, a diferencia con los de mina que son de arrastre central.

El consumo de reactivos es muy pequeño, llegando en ocasiones a la adición de cal y de floculante primario en cantidades mínimas, y por tanto solo es esencial el destacar que una planta de este tipo, debe ser muy flexible para poder tratar aguas bastante cargadas durante las épocas de fuertes lluvias y prácticamente eliminación de Fe y Mn durante las épocas más secas.

ANALISIS HIDROGEOLOGICO DE LAS EXPLOTACIONES SUBTERRANEAS DE CARBON EN EL GRUPO ALLER DE HUNOSA.

Ponente:

D. José Angel Fernández Valcarce

Autores:

Carlos Luque Cabal. Dirección Técnica, U.C. de Geología. HUNOSA. Ujo (Mieres).

Juan Margareto García. Dirección Técnica. HUNOSA. Mieres

Fernando Pendás Fernández. ETSIMO. Independencia, 15. Oviedo.

Pilar Almudena García Fuente. Departamento de Matemáticas.

Calvo Sotelo, s/n. Oviedo.



INTRODUCCION

El Grupo Aller, que constituye una unidad de explotación minera de HUNOSA, está localizado en el sector meridional de la Cuenca Carbonífera Central Asturiana (Fig. 1, a). Incluye los pozos Santiago y San Antonio como principales labores de interior ubicados en la vega aluvial del río Aller.

El presente trabajo, desarrollado en el quinquenio 1985-1990, hace referencia principalmente al análisis hidrogeológico del Pozo San Antonio puesto que las consideraciones generales de la problemática del agua, la toma de datos y su interpretación es prácticamente común para ambos.

La situación estratégica de los pozos del Grupo Aller es el origen del problema del desagüe, el cual se inicia con la historia de los mismos, ya que fueron excavados bajo el nivel piezométrico, que entonces coincidía aproximadamente con el nivel del río, en una zona del terreno saturada de humedad. El río Aller drena una cuenca importante en extensión, fundamentalmente de carácter torrencial, con abundante pluviosidad y niviosidad.

Además, la historia minera de la zona ha sido muy dilatada a lo largo del presente siglo. Salvo excepciones, la explotación ha sido completa por encima del nivel del valle, por lo que toda la zona se encuentra muy fisurada y afectada por hundimientos de minería de montaña. Se puede considerar que todo el agua que se infiltra en la zona acaba siendo desaguada por los pozos Santiago y San Antonio, lo que crea un problema fundamentalmente económico (coste energético del desagüe, pérdida de horas de trabajo debido al agua en los talleres, etc.).

Si se toma un año tipo, 1986, la producción media en San Antonio fue de 1.351 toneladas de carbón al día, y el caudal desaguado fue de 5.025.435 m³. Resulta así que se extrajeron más de 10 toneladas de agua por tonelada de carbón. Con datos de caudales corregidos, este ratio se reduce a 6,5 toneladas de agua por tonelada de carbón.

Al coste energético del desagüe se une la pérdida de rendimiento en las explotaciones por horas de «mojado», que acentúan el problema económico.

Pero el problema más grave consiste en el riesgo de irrupciones de aguas colgadas, embalsadas en las labores antiguas de minería de montaña situadas sobre los pozos. San Antonio tiene un trágico historial al respecto.

El análisis detallado de los problemas puntuales que origina el agua, ha exigido, como paso previo, la elaboración de modelos que permitan simular el comportamiento del agua en la mina, favoreciendo así:

- Establecer una predicción de avenidas de agua en la mina
- Realizar una gestión óptima de las operaciones de bombeo.
- Predecir la influencia de apertura de nuevas plantas y del avance de la explotación en las ya existentes.



FIGURA 2

- Caudal específico superficial=42.54 l/sg.Km²
- Caudal específico subterráneo=19.61 l/sg.Km²
- $C_i = 0.46$
- $C_e = 1.06$

En el área de las explotaciones mineras discurren los ríos Aller, que es la principal arteria hidrográfica con una aportación media del orden de 11 m³/sg, junto con el Negro y Cervigao. Esta red hidrográfica drena una cuenca de una superficie aproximada de 400 Km². Se caracterizan por ser de tipo torrencial debido a la pendiente de la cuenca por ellos drenada, ya que llegan a descender en 30 Km unos 1700 m, con una pendiente media del 56%.

En el inventario de puntos de agua realizado, destaca la escasez de fuentes naturales que en épocas pasadas fueron abundantes, arroyos y manantiales, los cusales fueron «agotándose» paulatinamente con el desarrollo de las explotaciones mineras, tanto de montaña como subterráneas.

Las fuentes actuales corresponden a transversales, bocaminas o socavones de los pisos de montaña situados a cotas inferiores, registrándose caudales desde 0.2 l/sg hasta 5 l/sg (Socavón General del 1º Piso del Grupo Cutriferá)

SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS

En la zona estudiada se pueden distinguir dos tipos de subsistemas hidrogeológicos:

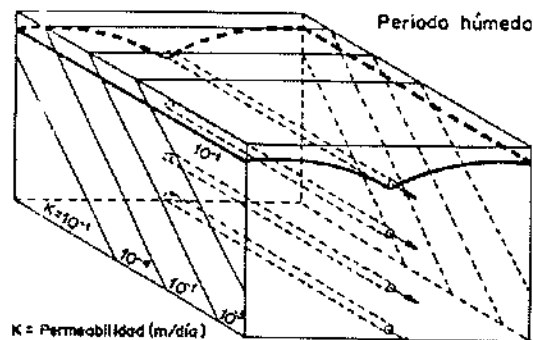
- Sistema formado por cuaternarios.** Compuesto por materiales de recubrimiento de espesores variables. En ocasiones, están relacionados con sedimentos de piedemonte. La alimentación se produce por el agua de lluvia, así como por los aportes fluviales que saturan los materiales de la vega del Río Aller, con una transmisividad y permeabilidad medias cercanas a los 2300 m²/día y 200 m/día respectivamente, lo que suponen un excelente drenaje y un alto efecto de recarga.
- Sistema multicapa de areniscas.** El sinclinal de Moreda constituye un acuífero multicapa complejo, constituido, como se indicó, por una serie de alternancias lutítico-arenosas. Los niveles más permeables están constituidos por bancos de areniscas compactas y fracturadas, que dan lugar a acuíferos de tipo poroso, separados por niveles impermeables o semipermeables, de arcillas, lutitas más o menos arenosas y capas de carbón. (Pendás y García Fuente, 1988) (Fig.3).

La permeabilidad del conjunto es baja, debido al contenido en arcilla de los niveles de areniscas, oscilando entre 10⁻⁴ y 10⁻³ m/día.

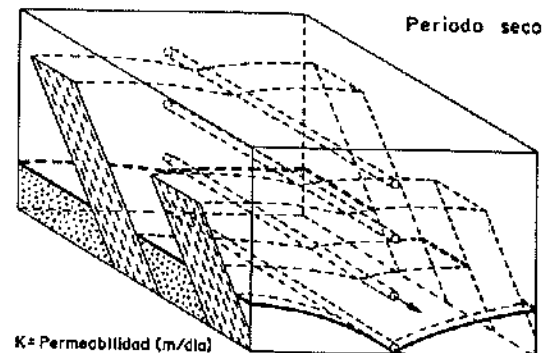
Cuando las entradas al sistema son superiores a las salidas, el Nivel piezométrico aumenta y más o menos es el mismo para los distintos tramos establecidos (Fig.3,a). Sin embargo durante el periodo seco las entradas de agua no compensan las salidas y el Nivel piezométrico desciende, aunque no uniformemente. En las areniscas lo hace más rápidamente que en los niveles lutíticos (Fig.3,b).

Existen dos fuentes de alimentación del sistema multicapa de areniscas:

- Por un lado, el agua de lluvia y nieve.
- Por otro lado, el agua de río a través de los sedimentos del cuaternario que alimentan, a su vez, a los terrenos minados.



a



b

La circulación del agua se realiza preferentemente a través de las capas de areniscas, cuya permeabilidad aumenta notablemente por la fracturación originada por las explotaciones mineras. La circulación por los poros interconectados de la arenisca es despreciable frente a la circulación a través de las fracturas abiertas en el terreno minado y las zonas de descompresión asociadas a ellas, ligadas siempre a fracturas y diaclasas. Las filtraciones más importantes se producen en los puntos de intersección de dos galerías, que tienen que soportar mayores presiones provocadas por la apertura de varios huecos.

Por otro lado hay que tener en cuenta la circulación del agua por las galerías antiguas semihundidas, que actúan como drenes horizontales del terreno. Esto se comprueba por el hecho de que las pocas fuentes que quedan en la zona están asociadas todas a antiguas bocaminas.

Existen diversas zonas de acumulación, en las que el agua se embalsa al tropezar con un impermeable, tal como un macizo de carbón sin explotar no afectado suficientemente por la fisuración o embalsamientos originados por hundimientos locales (derrabes). De esta manera se pueden formar bolsas de agua colgadas en las zonas minadas, altamente peligrosas para la minería subterránea actual. Si el agua al circular arrastra polvo fino de carbón, puede cerrar las grietas y fisuras que atraviesa facilitando su embalsamiento.

La descarga del sistema se realiza casi exclusivamente a través de los Pozos Santiago y San Antonio.

IMPACTO MINERO EN LOS SISTEMAS HIDROGEOLOGICOS

El funcionamiento del sistema multicapa de areniscas se ve profundamente alterado por la minería, tanto por las minas de montaña ya abandonadas, como por la minería subterránea actual. La minería tiene dos efectos sobre el funcionamiento del sistema hidrogeológico:

- Descenso del nivel piezométrico.
- Modificación de los parámetros hidrogeológicos.

Es evidente que el bombeo continuo de agua desde los pozos al exterior, durante más de 40 años, va agotando el acuífero constituido por el sistema multicapa de areniscas.

Como la recarga del acuífero por infiltración de agua de lluvia, nieve o del río, no compensa las salidas por bombeo desde el pozo, el nivel piezométrico va descendiendo. El bombeo desde San Antonio ha abatido el nivel piezométrico desde el nivel del río (290 m.s.n.m.) hasta la cota de 7ª planta (-85 m.s.n.m.), creándose un cono de depresión, que marca el nivel piezométrico dinámico que separa la zona del terreno saturada de humedad, de la zona desecada por el bombeo o desaturada.

El avance de las labores de explotación obliga a desecar una zona más amplia, que además, se corresponde en superficie con un área de recarga por lluvia mayor. Por ello al avanzar la explotación aumenta el agua bombeada desde la planta más inferior, mientras disminuye el agua bombeada desde las plantas abandonadas hasta un nivel mínimo casi constante.

La minería no sólo ha vaciado el acuífero sino que además las labores mineras y la fisuración del terreno que éstas provocan, han alterado notablemente sus características y los parámetros hidrogeológicos.

El acuífero multicapa de areniscas, que inicialmente podía ser considerado de tipo poroso pasa a ser de tipo kárstico-poroso, ya que su permeabilidad se debe no sólo a porosidad intergranular o primaria, sino fundamentalmente a grietas, fisuras y huecos (mecánicos o de disolución).

Los valores de la porosidad, transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento aumentan notablemente respecto a sus valores iniciales. La porosidad de las areniscas puede pasar desde valores iniciales alrededor del 1% hasta valores de más de 10% (porosidad secundaria por fracturación).

El coeficiente de almacenamiento llega a pasar de valores iniciales del orden de 10^{-3} o 10^{-4} a valores del orden de 10^{-1} y la permeabilidad puede variar de 10^{-1} m/día (para los niveles de areniscas), a valores del orden de 100 m/día.

Por último, la transmisividad, que originalmente puede ser alrededor de 10 m²/día, aumenta hasta valores cercanos a los 1000 m²/día.

LABORES MINERAS

El Pozo San Antonio está situado en Moreda de Aller. Su cota brocal se sitúa a 301 m. sobre el nivel del mar, en la margen izquierda del río Aller, en las proximidades de la desembocadura del Río Negro.

Explota principalmente el paquete María Luisa (capas María, Matona, Prevenida, Vicentera, Fuente, Fontina, Valdeposadas, Turca y Turquina), así como la capa Jacoba del paquete Generalas y la capa Trapiella del Soton.

Las labores actuales abarcan 5 plantas (1ª, 3ª, 5ª, 6ª y 7ª), (Fig.4). Por otra parte el Pozo Santiago se localiza próximo a Valdefarrucos, en la vega aluvial del Río Aller. Explota los paquetes María Luisa, Sotón, Generalas y San Antonio, en orden a su importancia.

Las labores del pozo Santiago se distribuyen en nueve plantas, de las cuales permanecen abiertas todas menos la 4ª y la 6ª, acabándose de reprofundizar la 9ª y la 11ª.

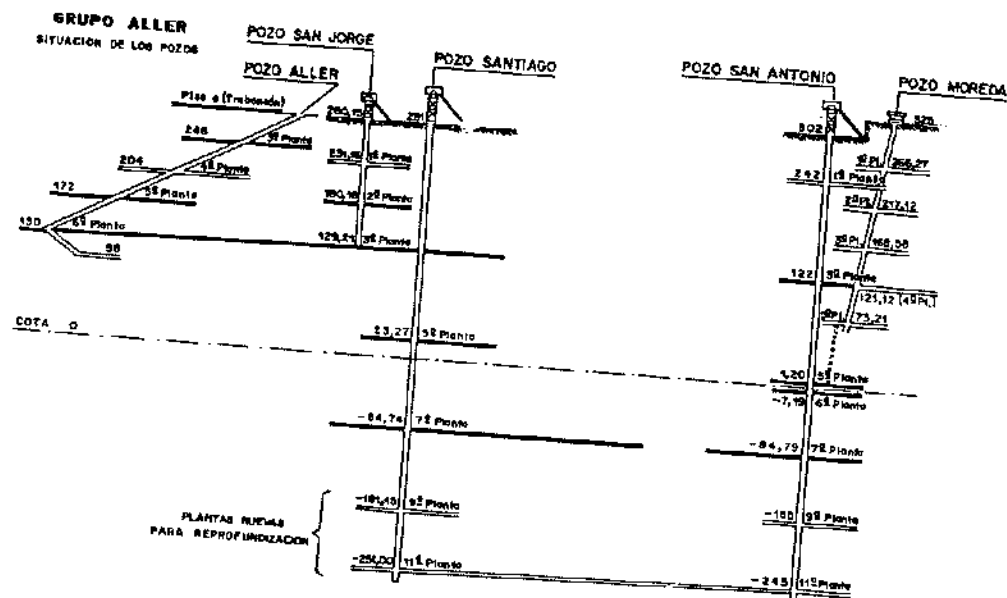


FIGURA 4

DESAGÜE DEL POZO SAN ANTONIO

Una de las principales dificultades previas al estudio hidrogeológico era la falta de datos fiables de los caudales drenados por la mina y su procedencia. Los datos de desagüe disponibles, basados en las horas de funcionamiento de las bombas, no respondían a la distribución del drenaje por plantas y eran caudales mayores de los realmente desaguados, sin que fuera posible determinar con un grado de confianza aceptable su fiabilidad. Esto implicó la realización de una minuciosa campaña de aforos para conocer los caudales circulantes en las labores mineras. Diversos métodos fueron ensayados en las distintas plantas, tales como:

- Método del flotador
- Aforos con molinete
- Aforos con canal Venturi
- Aforos con vertederos

La distribución del drenaje por plantas, calculado a partir de los datos anuales de desagüe, según las horas de funcionamiento de las bombas se recogen en la Tabla I.

AÑO	1ª PLANTA	3ª PLANTA	5ª PLANTA	7ª PLANTA
1982	5%	25%	42%	28%
1983	4,5%	23,5%	41,5%	30,5%
1984	4%	23%	35%	38%
1985	3%	19%	41%	36%
1986	3,5%	19%	36%	41.5%

TABLA I

A partir de las medidas realizadas, el drenaje se distribuye por plantas según se recoge en la Tabla II.

PLANTA	CAUDAL (l/s)	PORCENTAJE
1ª	9,75	8,75%
3ª	25,75	23,25%
5ª	33	30%
7ª	41,75	38%
TOTAL	110,25	100%

TABLA II

La diferencia porcentual más sensible corresponde a la 1ª Planta.

El agua de la 1ª planta procede, fundamentalmente de la infiltración de los minados

provocados por la explotación, desde los ríos Aller, Negro y Cervigao, cuyos cauces discurren sobre las labores de San Antonio, habiéndose observado filtraciones, a veces importantes, en puntos muy localizados. Existe una zona en la que sorprendentemente el aporte se produce en verano debido al riego de unos prados situados encima cuyos canales de riego parecen comunicar con las labores de San Antonio.

La procedencia del agua de 3ª y 5ª Plantas se muestra en las Tablas III y IV.

FECHA→	3-XI-1986		15-I-1987		VALORES MEDIOS	
AFOROS	CAUDAL (l/s)	%	CAUDAL (l/s)	%	CAUDAL (l/s)	%
Turquina	7.2	32	9.5	32.5	8.35	32.25
S.I.A.	5.9	26.5	9	31	7.45	28.75
Turquina S.	5.7	25.5	5.5	19	5.6	22.25
Equis N.	1.5	7	2	7	1.75	7
Filtrac.	2	9	3	10.5	2.5	9.75
TOTAL	22.3²	100	29	100	25.65	100.

Tabla III

FECHA→	21-X-1986		15-I-1987		VALORES MEDIOS	
AFOROS	CAUDAL (l/s)	%	CAUDAL (l/s)	%	CAUDAL (l/s)	%
T. Jacoba	1.5	4.5	1.5	5	1.5	4.75
María N.	20	59	21	65.5	20.5	62.25
Esteril S.	6.5	19	5	15.5	5.75	17.25
Turquina N.	1	3	0.5	1.5	0.75	2.25
Filtrac.	5	14	4	12.5	4.5	13.25
TOTAL	34	100	32	100	33	100.

Tabla IV

Como se observa, en 3ª Planta, respecto del caudal total un 39% procede de las labores antiguas de la Zona Norte, de la que un 32% sale por la guía de la Capa Turquina y el 7% restante por la guía de la Capa Equis. Así mismo un 29% procede del Pozo Moreda explotado por la Sociedad Industrial Asturiana (S.I.A.) y otro 22% de las labores antiguas del campo Sur situadas en las dos vertientes del Río Negro.

Las galerías del Sur de 6ª Planta son relativamente «secas», mientras que la zona del Norte fue tradicionalmente seca hasta que se produjo una irrupción de aguas colgadas de Mayo de 1984. Desde entonces pasó a ser zona de mucha agua, dándose sondeos de drenaje desde 6ª Planta, en la guía de la capa María, hasta 7ª Planta. Cuando llueve intensamente circula agua por casi todos ellos a través de los minados antiguos.

FECHA →	4-XI-1986		13-I-1987		VALORES MEDIOS	
AFOROS	CAUDAL (l/s)	%	CAUDAL (l/s)	%	CAUDAL (l/s)	%
T. Jacoba	5	14	7.5	18.5	6.5	16.25
Estéril S.	3.5	9.5	4.5	11	4	10.25
Estéril N.	5.5	15.5	7	17	6.25	16.25
María S.	2.5	7	2.5	6	2.5	6.5
María N.	1.5	4	1.5	4	1.5	4
Matona N.	1.5	4	2.5	6	2	5
Vicentera S.	1	3	0.5	1	0.75	2
Vicentela N.	1.5	4	2	5	1.75	4.5
Fontina S.	2	5.5	2	5	2	5.25
Fontina N.	3	8.5	3.5	8.5	3.25	8.5
Turca N.	3.5	9.5	3	7.5	3.25	8.5
Sondeo 6ª	2.5	7	2.5	6	2.5	6.5
Trapiella S.	0.5	1.5	0.5	2.5	0.5	2
Filtrac.	2.5	7	1	2	1.75	4.5
TOTAL	36	100	40.5	100	38.25	100

TABLA V

La procedencia del agua de 7ª Planta se recoje en el Cuadro VI, en el que se aprecia la gran diversificación de los caudales que acceden a la misma.

En la actualidad el desagüe del pozo San Antonio se efectúa desde cuatro estaciones de bombeo situadas en las plantas 1ª, 3ª, 5ª y 7ª (Fig. 5) reflejándose las características de las bombas en la Tabla VI.

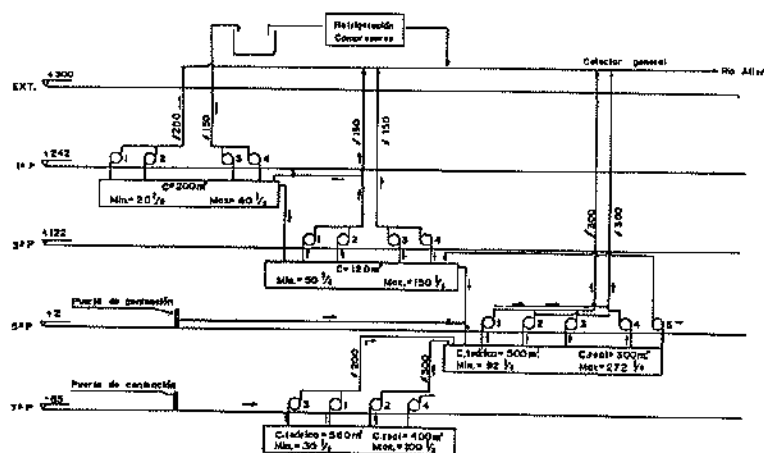


FIGURA 5

PLANTA	Nº	MARCA	KW	m³/h Teóricos
1ª S.I.A.	~	WORTINGTON	44	165
1ª Planta	1	WORTINGTON	22	70
	2	WORTINGTON	103	108
	3	WORTINGTON	44	100
3ª Planta	1	SULZER	162	108
	2	SULZER	162	170
	3	VOLUM	258	180
5ª Planta	1	WORT. + NODRIZA	526	400
	2	WORT. + NODRIZA	526	400
	3	WORT. + NODRIZA	526	400
	4	SULZER	600	360
	5	WORTINGTON	162	250
7ª Planta	1	SULZER	132	360
	2	SULZER	132	360
	3	SULZER	132	360
	4	VOLUM	74	180
POTENCIA TOTAL			3605	
DESAGUE MAXIMO				3971

TABLA VI

Los caudales bombeados en el Pozo San Antonio en el quinquenio 1982-1986 se incluyen en la Tabla VII.

PLANTA	Q (m³)				
	1982	1983	1984	1985	1986
1ª a ext.	248.832	248.832	178.848	194.400	174.873
3ª a ext.	1.182.960	1.314.000	1.089.500	1.150.860	946.080
5ª a ext.	3.324.800	4.029.200	3.478.336	4.637.220	3.904.482
7ª a 5ª	1.312.930	1.708.051	1.811.376	2.173.706	2.096.892
5ª sin 7ª	2.011.870	2.321.149	1.666.960	2.463.514	1.807.590
TOTAL	4.756.592	5.592.062	4.746.684	5.982.480	5.025.435

TABLA VII

EL AGUA DEL POZO MOREDA

El Pozo Moreda se encuentra casi a 1 Km de San Antonio, aguas arriba del río Aller. La Sociedad Industrial Asturiana (S.I.A.) explotó el flanco Este del sinclinal de Moreda, beneficiando las capas de Generalas, San Antonio, y María Luisa. Las labores se desarrollaron hasta la 5ª Planta, situada a una cota de + 73,21 m.s.n.m. (Ver Fig.4).

En el Pozo Moreda siempre hubo mucha agua debido a la existencia de infinidad de antiguas labores de montaña en ambas vertientes del valle, así como a la infiltración de agua del río Aller. El espesor del macizo de protección bajo el río es de 40 m. aunque se sospecha que en algunos sitios ha sido menor. Unos 300 m. aguas arriba del Pozo Moreda, el río manifiesta una fuerte tendencia a erosionar la margen izquierda del cauce. Esta zona fué reforzada con gabiones, para evitar la posibilidad de intrusión del río Aller en la mina, que tendría consecuencias catastróficas.

En la actualidad el desagüe del Pozo Moreda se realiza a través de las plantas 3ª y 5ª del Pozo San Antonio, habiéndose conducido sus aportes mediante diversos sondeos (capas Maria, Cro. Benita) o tuberías que descargan a través de pozos y galerías. Recientemente (Abril 1990) se ha instalado en 1ª Planta. una bomba, que ayuda al desagüe del Pozo San Antonio.

HIDROQUIMICA

La caracterización físico-química del agua drenada en las explotaciones del pozo San Antonio y de zonas adyacentes, cuya procedencia se recoge en la Tabla VIII, se refleja en la Tabla IX y en las Figs. 6 y 7.

MUESTRA	PROCEDENCIA
1	1ª Planta
2	3ª Planta
3	5ª Planta
4	7ª Planta
5	5ª y 7ª Planta
6	Conjunto de vertido a las 10:00 h
7	Conjunto de vertido a las 14:15 h
8	Río Aller aguas arriba del pozo
9	Río Aller 1 km aguas abajo del pozo

TABLA VIII

	MUESTRA								
ANÁLISIS (mg/l)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Calcio (Ca^{2+})	87.2	104.8	96	49.6	75.2	77.6	77.6	55.2	59.2
Magnesio (Mg^{2+})	20.4	23.3	26.2	24.3	25.3	24.8	24.3	8.8	6.8
Sulfatos (SO_4^{2-})	94	91	145	318	241	194	87	28	59
Hierro (Fe^{3+})	0.10	0.10	0.18	0.24	0.18	0.28	0.18	0.30	0.16
Carbonatos (CO_3^{2-})	181.2	24.8	208.8	134.4	175.2	177.6	176.4	104.4	105.6
Sólidos en suspensión	15	18	37	450	279	60	80	<10	29
pH	7.58	7.25	7.66	8.09	8.07	8.13	8.17	7.79	7.83
Conductividad ($\mu\text{mhos/cm}$)	449	583	695	1259	978	768	810	244	272
Dureza total (CO_3Ca)	302	358	348	224	292	296	294	174	176
Materia orgánica (O_2)	1.3	1.7	3.8	3.1	3.2	4.8	10.3	1.8	1.7
Oxígeno Disuelto (O_2)	-	-	-	-	-	7.6	7.2	9.7	9

TABLA IX

Como conclusiones de los datos obtenidos cabe indicar que el agua drenada por la mina es carbonatada cálcica, siendo esta característica menos acusada en el agua procedente de 7ª Planta. Por tanto es un agua de dureza elevada.

Aunque, en general, la minería del carbón produce aguas ácidas con un alto contenido en iones sulfato, la acidez debida a los mismos es compensada por la basicidad debida al contenido en Carbonato Cálcico.

El agua drenada por la mina es potable, ya que su composición iónica está dentro de los límites establecidos por la legislación española.

MODELO DE SIMULACION DE BOMBEO

Se ha desarrollado un modelo matemático que simula los bombeos de agua desde el interior de una mina subterránea de carbón.

Los caudales bombeados presentan una respuesta rápida a la precipitación debido al flujo subterráneo del agua a través de las fisuras causadas por la explotación. Esta circunstancia hace que su comportamiento frente a la precipitación pueda parecerse a una cuenca hidrográfica o a un acuífero kárstico, con porosidad dual, similar a un conjunto de tanques conectados entre sí (Fig. 8). En ausencia de recargas los caudales de bombeo se pueden estudiar a partir de su curva de agotamiento. En el caso más general (Fig. 8) una mina drena varios acuíferos y la recarga que influye en la descarga puede ser la correspondiente a varios periodos anteriores de tiempo. La expresión general (Cueva, 1986) es de la forma:

$$\text{donde : } Q_n = \sum_{i=1}^n Q_{i-1} e^{-\alpha t} + \sum_{j=1}^m f(R_j)$$

- Q_i = Caudal en el instante t

- t = Tiempo

- α = Coeficiente de agotamiento

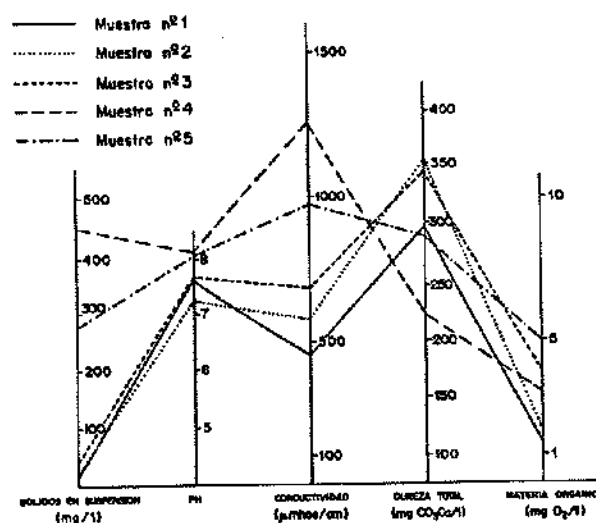


FIGURA 6

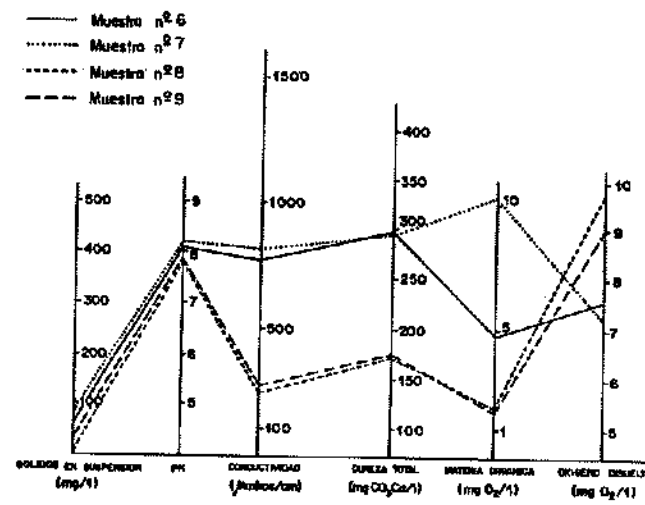


FIGURA 7

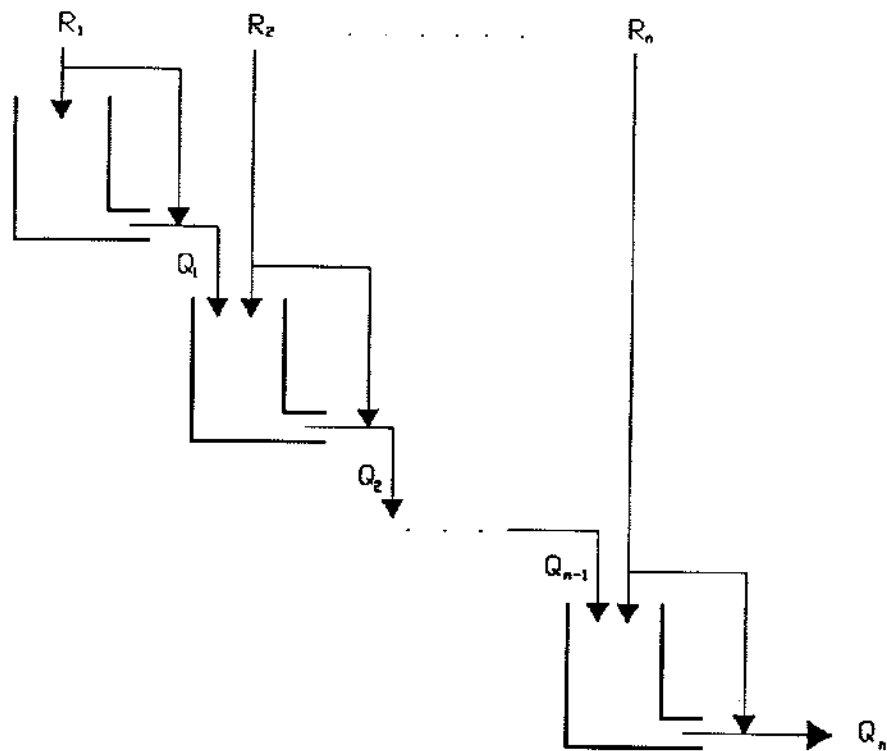


FIGURA 8

La función de recarga es de la forma:

$$f(R_j) = a_j P_j^{b_j} + c_j r_j$$

donde:

- P_j = precipitación en el período j
- r_j = caudal del río en el período j
- a_j, b_j, c_j = parámetros que intervienen en la función de recarga.

La estructura del modelo de tanques debe acomodarse a cada caso estudiado, dependiendo de las características del acuífero: geología, nivel de fracturación, distancia entre la zona de recarga y las áreas explotadas.

El proceso de modelización consta de los siguientes pasos:

a. Calibración. Consiste en la comparación entre los caudales calculados gracias a la función de transferencia, con los caudales reales medidos en los bombeos en la mina sobre la que se realiza el estudio, durante una serie representativa. Esta comparación se realiza visualmente, gracias a la representación en unos ejes coordenados de los caudales medidos junto con los calculados, y analíticamente, mediante el cálculo del error relativo de tipo cuadrático, en tanto por ciento.

La variación de los parámetros de la función de transferencia permite ir haciendo que los bombeos simulados se vayan acercando paulatinamente a los datos reales, hasta que el error medio y la salida gráfica se consideren óptimos.

Esta modificación de parámetros puede realizarse:

Manualmente. Se trabaja de manera interactiva con el ordenador, modificando uno o varios parámetros y comprobando la validez de éstos mediante la comparación con los datos reales. Se realizan repetitivamente estos pasos hasta lograr una buena aproximación.

Automáticamente. Se toman como base los parámetros de una calibración manual previa, y gracias a una función aleatoria se obtienen unos valores cercanos, dentro de un margen de variación impuesto al ordenador. Se realiza entonces una calibración del periodo completo de datos y se calcula el error cometido. Este proceso se repite hasta que el error obtenido sea inferior a un valor fijado previamente o se alcance un número de iteraciones máximo también prefijado.

El modelo implementado consiste en un programa interactivo que lee de una base de datos meteorológica, otra de caudales reales de bombeo y otra de caudales de agua que lleva el río, esta última con carácter opcional, ya que puede ser de importancia en minas situadas en zonas de montaña, o bien siempre que el río o ríos que fluyen por encima de las galerías, vean fuertemente incrementados sus caudales en épocas de deshielo.

b. Simulación. Consiste en la aplicación de la función de transferencia obtenida en el proceso de calibración, sobre una recarga dada.

El proceso de simulación sólo necesita obligatoriamente la base de datos de precipitaciones del periodo a simular, que tiene exactamente la misma estructura que la usada en el proceso de calibración.

En el caso particular de las explotaciones del Grupo Alier los objetivos de la simulación serían:

- 1) Predecir los caudales bombeados a partir de una determinada precipitación o estado del río, en cada una de las plantas y en todas ellas.
- 2) Poder predecir la influencia de la apertura de nuevas plantas en la mina.
- 3) Valorar la influencia del avance de la explotación.

ADAPTACION DEL MODELO AL POZO SAN ANTONIO

En la actualidad se está tratando de calibrar el modelo para el Pozo San Antonio, a partir de los siguientes datos:

Caudales reales bombeados, en m³/día, desde 1-1-1984 al 30-6-1991. A efectos de desagüe se divide el pozo en dos plantas, 1^a-3^a-5^a y 7^a, ya que las tres primeras están intercomunicadas y es preferible tratarlas como una unidad.

Datos diarios de precipitaciones y temperaturas máxima y mínima, recogidos en la estación termopluviométrica de Moreda.

Al intentar buscar unos valores para los parámetros de modelo con los que se obtenga una calibración aceptable, se tropieza fundamentalmente con dos dificultades. En primer lugar, la calidad de los datos, deja mucho que desear. Gráficamente se observa que, si bien existe una relación entre caudales teóricos y pluviometrías, ésta no es la misma para todo el periodo estudiado. En segundo lugar, debido a la gran cantidad de datos manejados a la vez en cada calibración, se producen problemas de almacenamiento en memoria y riesgos de overflow, y el tiempo de ejecución de las iteraciones se alarga considerablemente. Para evitar estos problemas, se dividen las bases de datos iniciales en otras correspondientes a periodos más cortos. Se ha encontrado que, en la práctica, el periodo óptimo de operación es de tres meses.

Para comenzar a calibrar el modelo, es necesario buscar manualmente un rango de valores para los parámetros de calibración. Se ha elegido para esta fase inicial un periodo (1-1-1987 al 31-3-1987) en el que a simple vista los datos de caudales parecen guardar una relación lógica con los datos correspondientes de precipitaciones. Los parámetros obtenidos están en los siguientes rangos:

- parámetros α : Entre 0.18 y 2.81
- parámetros A : Entre 0.00 y 2.94
- parámetros B : Entre 0.00 y 2.10

Se han ensayado diversos valores para el número de parámetros a emplear. Finalmente se han conseguido resultados aceptables con quince tanques. En un principio no se han tenido en cuenta los datos del río por considerarlos poco fiables.

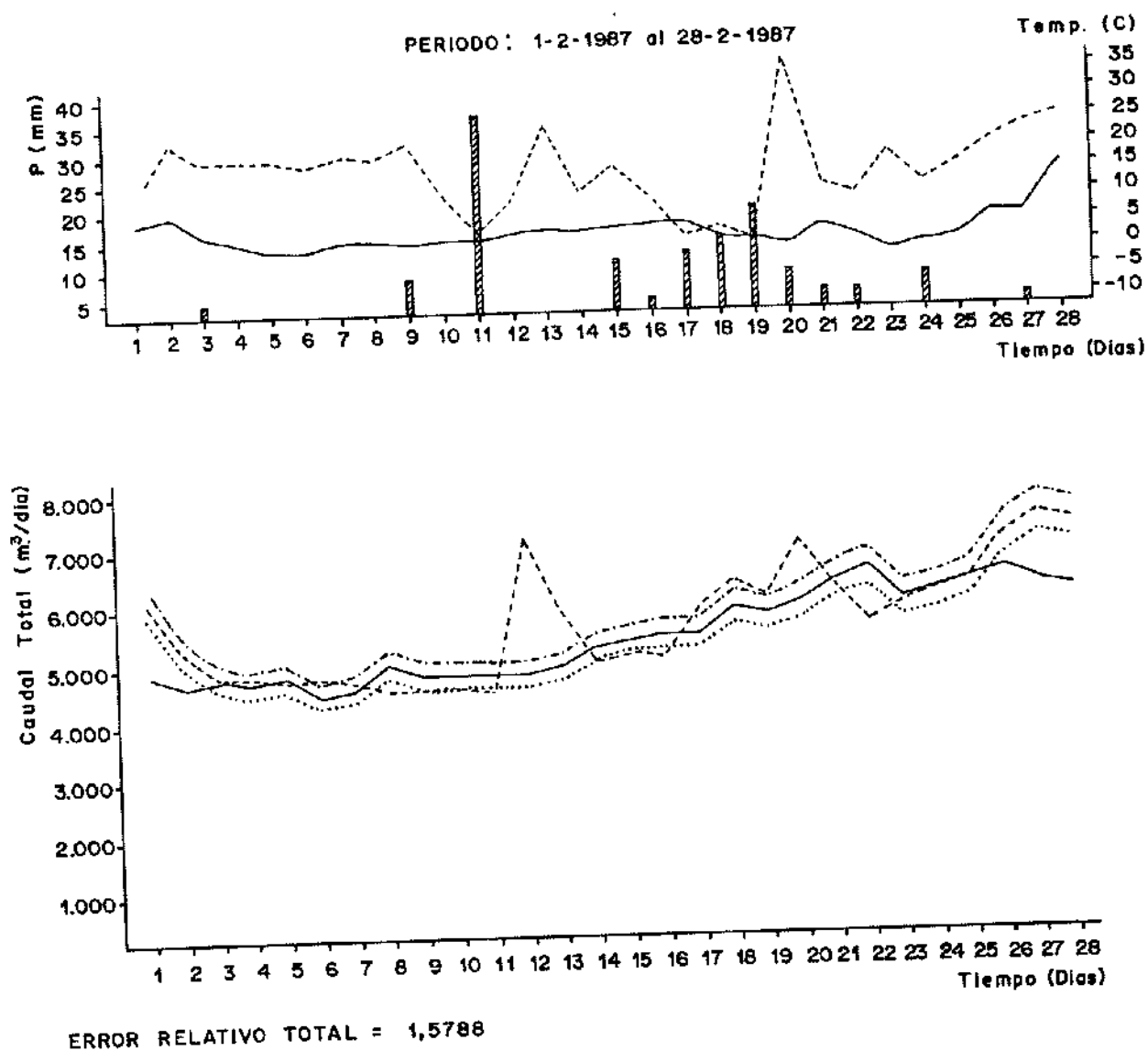


FIGURA 9

Los mejores resultados se obtienen calibrando el caudal total, como era de esperar, ya que las plantas no son independientes en lo relativo a drenaje y desagüe. En la figura 9 se observa un ejemplo de los resultados obtenidos. Actualmente se están investigando las causas de la variación temporal de los parámetros, y se intenta conseguir que sean aceptables para un periodo de tiempo lo suficientemente amplio como para poder pasar posteriormente a la fase de simulación.

APLICACIONES

El análisis hidrogeológico y el modelo de simulación de bombeos establecido tienen una aplicación inmediata sobre:

1) Previsión de avenidas de agua.

Las avenidas de agua producidas por fuertes precipitaciones o por deshielos repentinos pueden predecirse por medio del modelo de tanques presentado. Con él se pueden hacer previsiones de cómo afectan la precipitación y los caudales del río al volumen de caudal desaguado por el pozo, pudiéndose calcular los consumos energéticos para unas determinadas hipótesis de precipitación y caudal del río. La unidad de tiempo utilizada en el presente estudio es el día y para un mayor control de este tipo de fenómenos es necesario trabajar en tiempo real, es decir recibiendo directamente el modelo, el valor de la precipitación, el caudal del río, los caudales en los distintos puntos de desagüe del pozo, así como los niveles en las salas de bombas.

Actualmente HUNOSA tiene instalado en sus pozos el sistema de control SISCOS que permite registrar la información de los caudales bombeados, así como el nivel en las distintas salas de bombas. Este sistema posee canales disponibles que cabría utilizar para registrar precipitaciones y caudales del río. Además el programa de control del SISCOS está escrito en el mismo lenguaje y compilado con la misma marca de compilador, con la que está escrito el programa de modelización considerado en este informe, por lo cual, el acoplamiento entre ambos programas resulta una tarea fácil de realizar. De esta forma se lograría que en el sistema de alarmas del SISCOS se introdujera la previsión de posibles avenidas de agua. Por otra parte la calidad y fiabilidad de los datos contenidos en las bases de datos de registros de caudales y precipitaciones, resulta mucho mejor que el sistema actual consistente en la toma manual de datos en libretas.

Un tipo particular de avenidas de agua, que preocupa de manera especial en el Grupo Aller son las irrupciones de «aguas colgadas» debido a su peligrosidad, ya que en las explotaciones del Pozo San Antonio ha habido dos inundaciones.

La primera tuvo lugar el 5 de diciembre de 1959, en un plano inclinado del primer cuartel norte después de un derrame en la capa Valdeposadas. El agua almacenada en las labores hundidas del Pozo Moreda, con una altura de presión de unos 100 m., se abrió camino hasta las labores de San Antonio, inundando la 3ª planta y causando once muertos.

La segunda se produjo el 25 de mayo de 1984 en un taller sobre la capa María cerca de la falla de Xiviella. También tuvo lugar después de un derrame, tras unos días de intensas lluvias, inundando el agua a presión la 7ª Planta. No hubo víctimas pero afectó gravemente a las labores y alteró su drenaje.

El modelo matemático presentado en este estudio puede ayudar a detectar zonas con posibilidad de embalsamientos de agua en minados antiguos sobre las labores actuales. Se puede considerar que existe peligro de embalsamiento de agua si los aportes reales son mucho menores que los simulados por el modelo. La mayor dificultad práctica de este sistema es la necesidad de disponer de caudales diarios parciales drenados por la zona de estudio. Una vez confirmada la existencia de agua embalsada sería necesario desaguar la zona mediante sondeos.

- 2) Ahorro económico.** Deriva, de una parte, de una mejor planificación de los bombeos con el consiguiente ahorro energético, ya que bombeando en horas valle se ha constatado un ahorro de un 40% y, de otra, de la eliminación del agua de los frentes de explotación.

El desagüe en horas valle se está comenzando a poner en práctica en el pozo San Antonio, aún en fase experimental, con resultados aceptables a pesar de haber surgido algunas dificultades iniciales (escasa capacidad de algunos de los depósitos de aspiración, ciertas bombas tardan más de lo previsto en alcanzar un punto óptimo de funcionamiento...)

A consecuencia de la presencia de agua en los frentes de explotación, los obreros que trabajan en contacto con el agua tienen una jornada de una o dos horas menos, según la gravedad del problema en su puesto de trabajo. Estas horas, llamadas de «mojado», cuentan a efectos económicos como trabajadas. Por ejemplo, la media de tres meses analizados de 1986 fué de 3700 horas aproximadamente y supuso casi 6 millones de Ptas al mes, rondando los 70 millones anuales.

La presencia de agua en los talleres ocurre preferentemente cuando el techo de la capa está constituido por niveles de areniscas fisuradas, en las que la fracturación aumenta de forma sensible su porosidad. El problema de las horas de «mojado» suele presentarse en capas como la María, encajada entre las areniscas de la Voz y Valdeposadas.

Resulta, por ello, interesante realizar campañas de sondeos de drenaje desde la galería de base de los talleres con problemas de agua en el frente de explotación, con el fin de canalizar el flujo de agua.

Si este método tiene éxito, se conseguiría, además, el agua limpia de sólidos en suspensión si no recorre zonas en explotación. Esto repercutiría en un mejor funcionamiento de las bombas y en la limpieza de los depósitos de aspiración. Por último, mejoraría la calidad del agua vertida al río Aller, aspecto importante si, como parece en un futuro próximo, la Administración toma medidas sobre vertidos.

Otra manera de disminuir el coste energético del desagüe es mejorar la red de drenaje, evitando que el agua se infiltre a cotas inferiores, lo cual aumenta la energía necesaria para su evacuación. En este aspecto se han realizado diversas obras en el pozo San Antonio, entre las cuales cabe destacar:

Canalización de arroyos superficiales en puntos en que se ha comprobado que se producían importantes infiltraciones en el terreno. Estas obras disminuyeron el caudal drenado por la mina en puntos concretos, especialmente en los talleres de la capa Jacoba en 7ª Planta.

- Instalación de una estación automática de bombeo en 1ª Planta del pozo Moreda, lo que ha disminuido notablemente el aporte de agua a 3ª Planta del pozo San Antonio.
- Instalación de una bomba sumergible automática en 4ª Planta del pozo Moreda, cuyo desagüe es canalizado hacia 3ª Planta de San Antonio. Antes este agua era recogida en 5ª Planta situada 120 m. más abajo.

- 3) Apertura de nuevas plantas.** Es posible predecir de manera aproximada, mediante el modelo matemático, el caudal que será drenado por futuras plantas de explotación.

Conforme las labores mineras se van desarrollando en profundidad el caudal drenado por las plantas superiores va disminuyendo paulatinamente hasta estabilizarse, mientras que aumenta el caudal drenado por la planta base de la explotación debido al drenaje de un área de infiltración superficial cada vez mayor.

La predicción de caudales desaguados por nuevas plantas es muy importante en el diseño de su estación de bombeo y su red de drenaje.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ LINERA, J. (1984). Estudio Hidrogeológico de Coto Bello. Proyecto Fin de Carrera. ETSIM de Oviedo.

GARCIA LOYGORRI, A.; ORTUÑO, G.; CARIDE, C.; GERVILLA, M.; GREBER, Ch. y FEYS, R. (1971). El Carbonífero de la Cuenca Central de Asturias. Trabajos de Geología Univ. de Oviedo, 3, 101-150.

CUEVA, J.M. (1986). Los modelos de precipitación-esorrentía en los acuíferos kársticos. Jornadas sobre el karst en Euskadi. Tomo I, 19-32.

CUEVA J.M. (1988). Modelos Matemáticos en Hidrogeología. VIII Congreso Int. de Minería y Metalurgia. Tomo VI, 323-332. Oviedo.

PENDAS, F. y GARCIA FUENTE, P.A. (1988). Caracterización hidrogeológica de la minería de la Cuenca Central Asturiana. VIII Congreso Int. de Minería y Metalurgia. Tomo VI. Oviedo.

DEPURACION DE VERTIDOS A CAUCES PUBLICOS DE LOS LAVADEROS DE CARBON DE HUNOSA

Ponente:

D. José Angel Fernández Valcarce. Doctor Ingeniero de Minas

Dirección Técnica. HUNOSA

c/ Leopoldo Fernández Nespral, 25. 33900 Sama de Langreo.

Asturias



INTRODUCCION

La EMPRESA NACIONAL HULLERAS DEL NORTE, S. A. (HUNOSA), es una Empresa Pública dedicada a la producción de carbón de hulla en la Cuenca Central Asturiana, fué creada en el período 1967 - 1970 al adquirir el Instituto Nacional de Industria (I.N.I.) la totalidad de las acciones de 18 Sociedades Privadas dedicadas a la extracción de carbón, que se encontraban en crisis, descapitalizadas y reduciendo su producción. Es, desde entonces, la mayor Empresa Minera de España.

HUNOSA, ejerce su actividad en el área de 10 Municipios asturianos, siendo su presencia elemento determinante de la vida económica de unas comarcas donde viven cerca de 150.000 asturianos. Un 40% de la renta generada en estas Cuencas procede de HUNOSA. La aportación de la Empresa a la economía de la región asturiana se cifra en el capítulo de empleo en el 12%, mientras que en el apartado de la producción total es el 8%, y genera un 14% del valor añadido bruto regional.

Con una plantilla en torno a 17.000 trabajadores, HUNOSA es, en cuanto a volumen de empleo se refiere, la primera Empresa asturiana. Representa alrededor del 40% del empleo de todo el sector español del carbón.

El yacimiento que explota HUNOSA se extiende por el subsuelo de las cuencas de los ríos Caudal y Nalón. A diferencia de los comunes en la C.E., de capas horizontales y regulares, este yacimiento está formado por capas estrechas, muy inclinadas y con grandes fallas, lo que dificulta su explotación, e incide negativamente en los costes de extracción.

La producción se obtiene a través de veinte Centros de extracción.

El tratamiento de la producción bruta para conseguir los adecuados productos comerciales se realiza en seis instalaciones de lavado. La relación entre productos comerciales y producción bruta es del orden del 53%.

EL 95% de la producción se destina a las Centrales Termoeléctricas de la región.

El 5% restante corresponde a usos domésticos.

Dentro de las adaptaciones a las pautas medioambientales impuestas por la C.E. y demandada por la propia sociedad española, HUNOSA, está afrontando el problema de la contaminación de sus plantas de lavado, que han sido diseñadas, construidas y administrativamente aprobadas en épocas en las que la exigencia medioambiental no imponía condiciones para los vertidos a cauces públicos.

Antes de describir las soluciones técnicas adoptadas, creemos conveniente hacer mención al marco legal en que nos movemos y haremos incapié en el aspecto fundamentalmente contaminante de nuestros vertidos, que únicamente contempla los contenidos en sólidos en suspensión ya que afortunadamente no se ha detectado ningún otro tipo de contaminante, que no se elimine en el proceso de separación de la materia en suspensión.

MARCO LEGAL

La cumbre de Jefes de Estado y Gobierno de la Comunidad Europea, celebrada en París en el mes de Octubre del año 1972, ha marcado el inicio de la legislación comunitaria medioambiental y de la mayoría de los países que la componen.

En relación a la Comunidad, las medidas reglamentarias más importantes concernientes a la calidad y control de las aguas superficiales se recogen en las siguientes Directivas:

La 75/440 que se refiere a Aguas a Potabilizar

La 76/160 relativas a Aguas de Baño

La 78/659 referida a la vida acuática en Aguas Dulces y sobre la que no nos detendremos, porque nuestras aguas vierten a cauces regulados por esta Directiva, brevemente.

La citada Directiva 78/659 clasifica las aguas en dos tipos:

Las aguas en las que viven ó podrían vivir peces de la especie Salmonícola a la que pertenece el salmón y la trucha, entre otros y las aguas en que viven ó podrían vivir peces de los ciprinícolas ó a otros como el lucio, la perca y la anguila. La Directiva contempla una serie de parámetros (temperatura, Oxígeno disuelto, pH, etc.) cuyos valores difieren según el tipo de aguas a considerar.

En relación al parámetro que nosotros debemos de controlar especialmente **la materia en suspensión** la Directiva establece unos niveles de inmisión menores de 25 mg/l. con algunas excepciones en caso de fuertes lluvias.

En cuanto a la Legislación Nacional la referencia fundamental es la ley de Aguas 29/1985 de Agosto, su Reglamento R.D. 849/1986 de 11 de Abril, el R.D. 927/1988 de 29 de Julio y otras disposiciones complementarias.

Del contenido del Reglamento queremos destacar la figura del cánon y su valoración actual que, referida al parámetro sólidos en suspensión, tiene la siguiente formulación:

$$C \text{ (Ptas.)} = Q \text{ (m}^3\text{/a)} \times 5 \times K$$

Siendo C el cánon en Ptas., Q el vertido en m³/año y K un coeficiente que toma los valores de 0.3, 0.6 y 3 para valores de los sólidos en suspensión de los vertidos menores de 80 mg/l., entre 80 y 150 mg/l. y entre 150 y 300 mg/l. respectivamente.

El Real Decreto 927/1988 en su anexo número 3 "Calidad exigible a las aguas continentales cuando requieran protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces" clasifica las aguas, al igual que la Directiva 78/659, en dos grupos (salmonícolas y ciprinícolas) y en relación al parámetro "Materias en suspensión" establece los mismos niveles de inmisión que los que figuran en la citada Directiva.

Justificamos el hincapié que hacemos en la calidad de las aguas salmonícolas en el hecho de que nuestros vertidos se realizan sobre los cauces de los ríos Caudal, Nalón y afluentes que

son objeto del Plan de Saneamiento de los ríos Nalón, Caudal y Nora recogido en el Programa Nacional de Interés Comunitario (PNIC) de Asturias, aprobado por la C.E. en Octubre de 1987. Este Plan de Saneamiento tiene por finalidad devolver a las aguas de los ríos la pureza necesaria que permita la vida de salmónidos, tal como se establece en la Directiva 78/659 de 18 de Julio de 1978, del Consejo de las Comunidades Europeas, sobre la vida piscícola en agua dulce.

En relación a la calidad de las aguas debemos señalar que los planes para depurar las de nuestros vertidos se orientan en dos sentidos; por un lado se trata de reducir los volúmenes de nuestros vertidos, hasta donde sea posible, a base de trabajar en circuito cerrado en los lavaderos, concentrar producción y tratamiento con reducción de instalaciones en los casos posibles; por otro lado se trata de verter aguas con contenidos en sólidos en suspensión menores de 80 mg/l.

DESCRIPCION TECNICA ADOPTADA

Situación Actual

Toda la producción de la Empresa se trata en la actualidad en los siguientes Lavaderos de carbón: Sovilla, Turón, Mieres, Carrocera, Modesta y Candín, cuyas ubicaciones figuran en el cuadro denominado "Emplazamiento".

El esquema de lavado de los seis Lavaderos mencionados es, fundamentalmente el mismo, y básicamente consta, como se indica en el cuadro denominado "Esquema General de Lavado", de una clasificación granulométrica, en tres tamaños llamados finos, menudos y granos, cuyas respectivas granulometrías son 0/0,5 mm. 0,5/10 mm y > 10 mm. Cada una de estas fracciones granulométricas se tratan en sus correspondientes máquinas de lavado, en general, tambor Wemco para los granos, cajas de lavado para los menudos y celdas de flotación para los finos, en las que se obtienen los productos vendibles que, como anteriormente se ha indicado, se destinan a Centrales Térmicas y usos Domésticos, y los productos estériles, cuyo destino final es el de relleno de las minas, almacenamiento en escombreras o vertido a los cauces públicos.

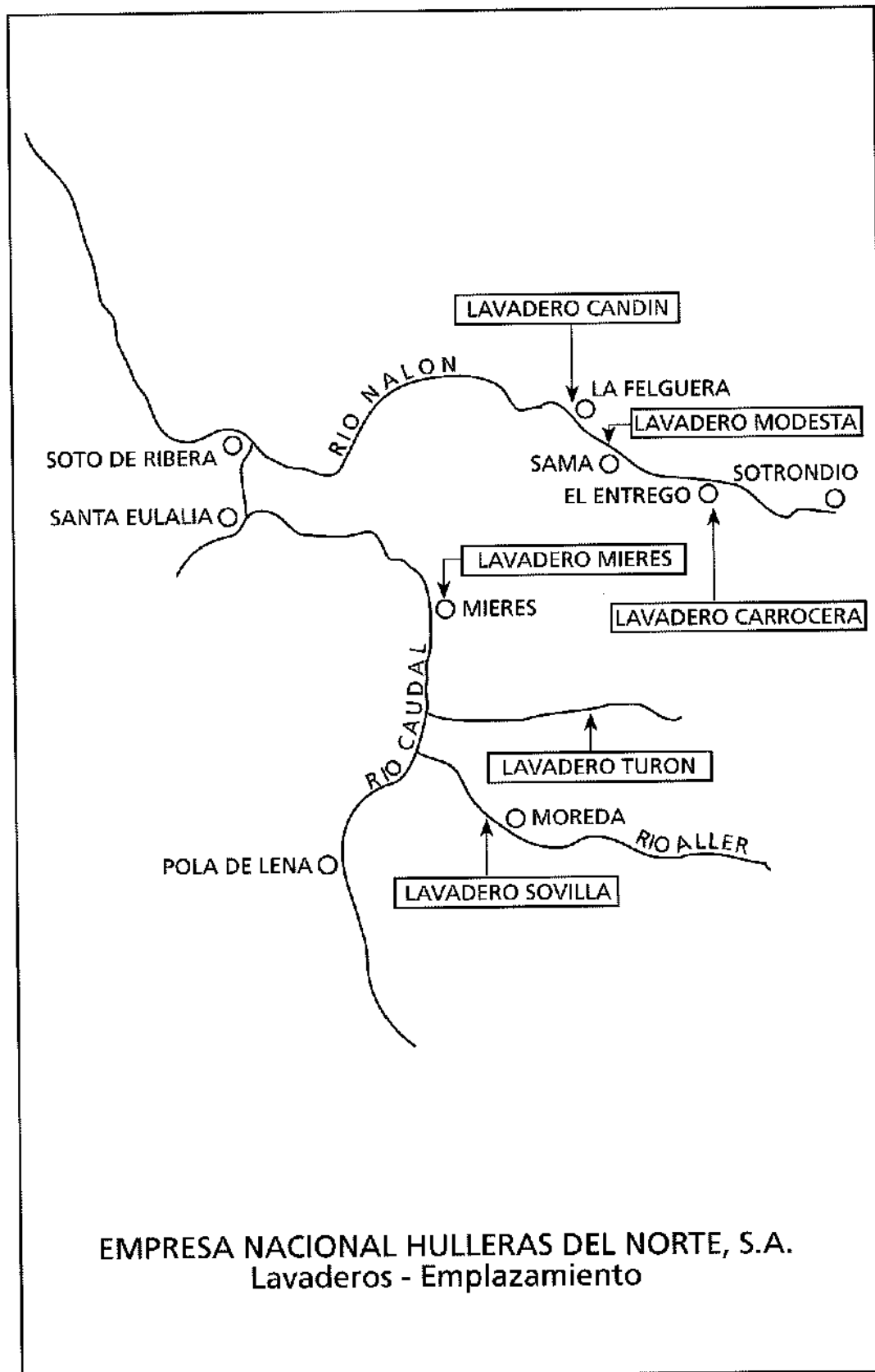
Son los estériles de los finos procedentes del lavado, del tamaño 0/0,5 mm los causantes de los vertidos contaminantes.

Actualmente se vierten a los cauces públicos unas 300.000 t/año, de aquellos productos que son los causantes del característico color negro de las aguas de los ríos de la Cuenca Central Asturiana. El volumen del agua vertida es de unos 5.000.000 m³ anuales.

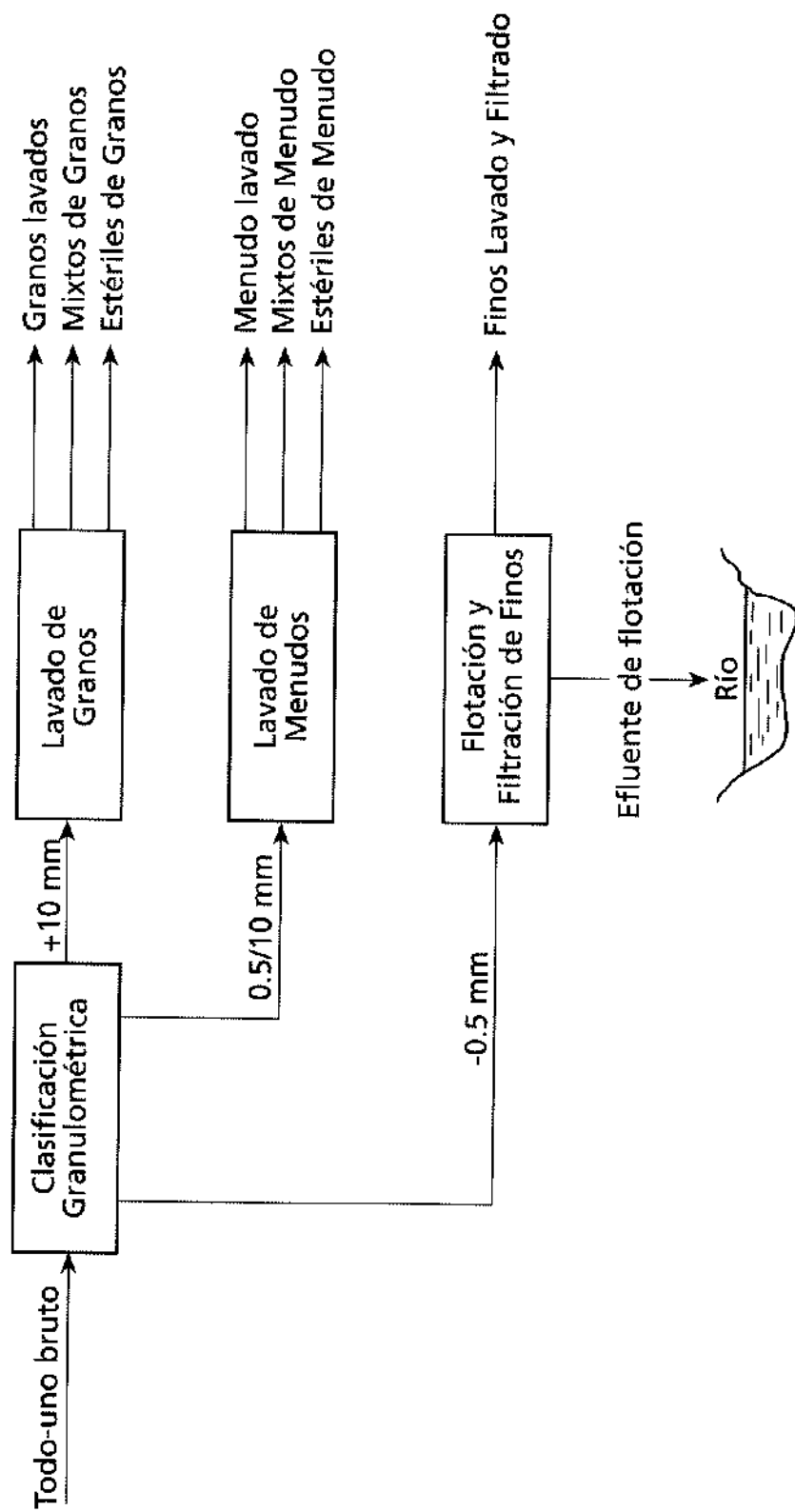
De todos los lavaderos existentes en HUNOSA, únicamente el Lavadero Candín, cuya entrada en funcionamiento ha tenido lugar el año 1977, ha resuelto el problema de la contaminación de sus vertidos, mediante un dique con lecho filtrante cerrando en valle, al que llegan las aguas del Lavadero que transportan los estériles de flotación.

Los actuales vertidos de los Lavaderos a los cauces públicos no pueden continuar, pues incumplen la actual legislación nacional y comunitaria en el contenido de sólido en suspensión que, en general, contiene más de 40 gr./l, cuando aquellas Legislaciones limitan los contenidos a 300 mg/l y aún menos en el caso de cauces protegidos.

Para corregir la irregularidad existente, en concreto para adecuarnos a la vigente Ley de Aguas 29/1985, de 2 de Agosto, hemos sido requeridos por el Organismo competente en la



ESQUEMA GENERAL DE LAVADO



materia, la Confederación Hidrográfica del Norte (C.H.N.), para estudiar, la forma de evitar los vertidos contaminantes a cauces públicos.

Los estudios preliminares se han finalizado durante el año 1990. Los proyectos definitivos de cada lavadero, se han ido realizando y las diferentes obras se han puesto en marcha de acuerdo con el planing aprobado por la Confederación Hidrográfica del Norte de España.

Características del Proyecto

Se ha realizado un estudio integral del total de los cinco Lavaderos contaminantes de los ríos aplicando a cada uno la solución más viable desde el punto de vista operativo, y de menor inversión. Ello nos lleva a emplear diferentes soluciones, que van desde la concentración de Lavaderos, como en el caso de Modesta y Carrocera, a la utilización de sistemas mixtos de corte en seco y posterior tratamiento por decantación y filtrado en el resto de los Lavaderos.

Lavadero de Turón

El Lavadero de Turón, con una capacidad de 250 tb/h trata actualmente dicho carbón por vía húmeda, empleando tambor Wemco para los granos, cajas de pulsación neumática PIC para los menudos, y celdas de flotación como las Humboldt-Weda para los finos. Tanto los estériles de flotación como las aguas residuales del Lavadero, son enviadas al río Turón sin depuración. Para resolver el problema ocasionado por la actual contaminación de las aguas se pretende un sistema de corte seco para tamaños de 4 mm. Mediante este sistema eliminaríamos la flotación y, con ello, la emisión de estériles al río. Para recuperar los productos degradados en el proceso normal de lavado de los tamaños superiores a 4 mm, que deben de eliminarse en los circuitos de agua, se procederá a una decantación y posterior filtración en filtros de vacío para, así recuperar un producto comercial.

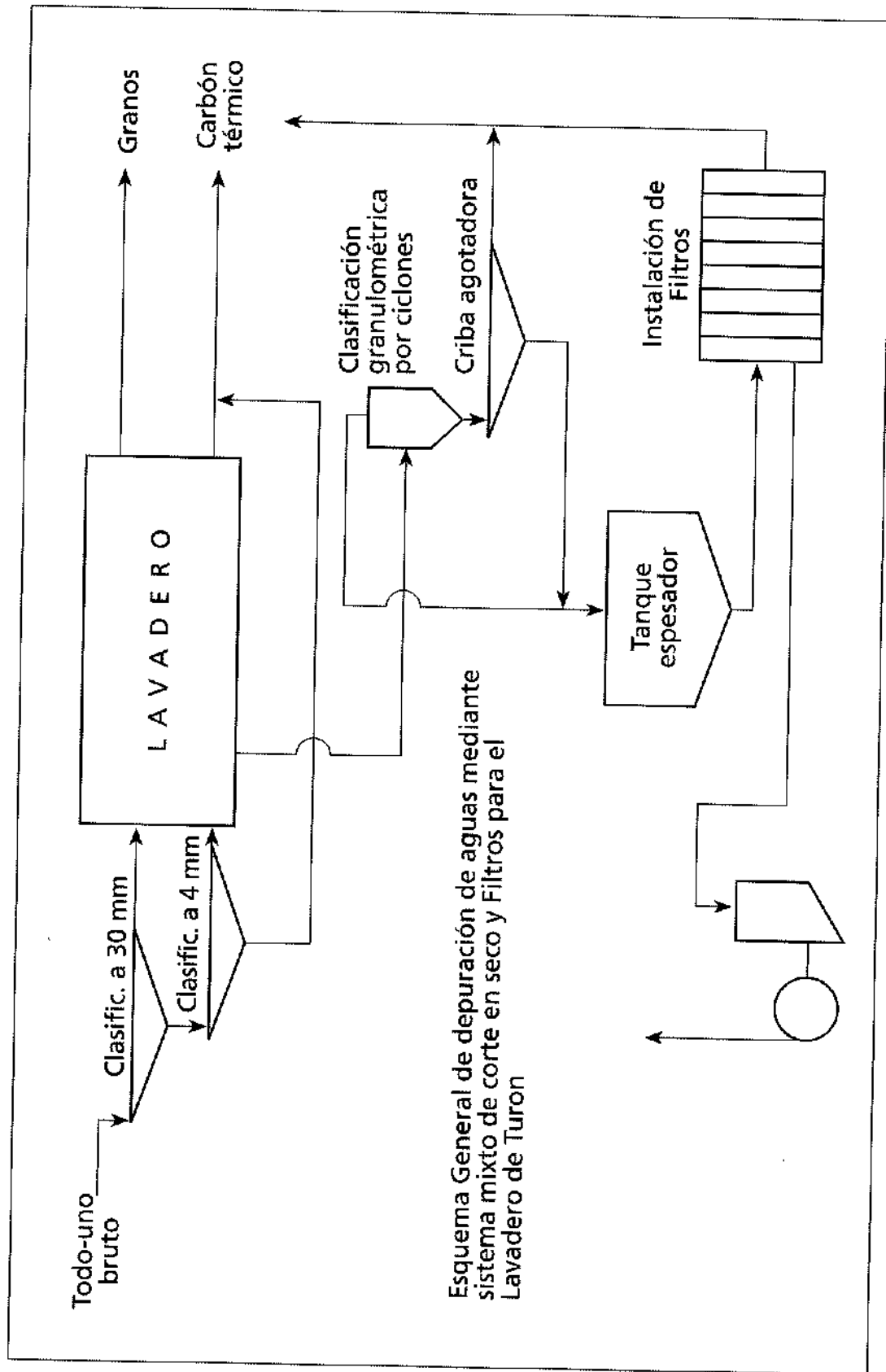
Este sistema mixto de depuración con el empleo del corte en seco de 4mm, ha sido posible por la existencia en el mercado de cribas que han permitido tratar un producto bruto con humedades del 8%, a tamaños menores de 4mm, y ello debido al avanzado diseño que consigue una aceleración máxima del producto con una aceleración mínima de la estructura, evitando la obturación de las mismas.

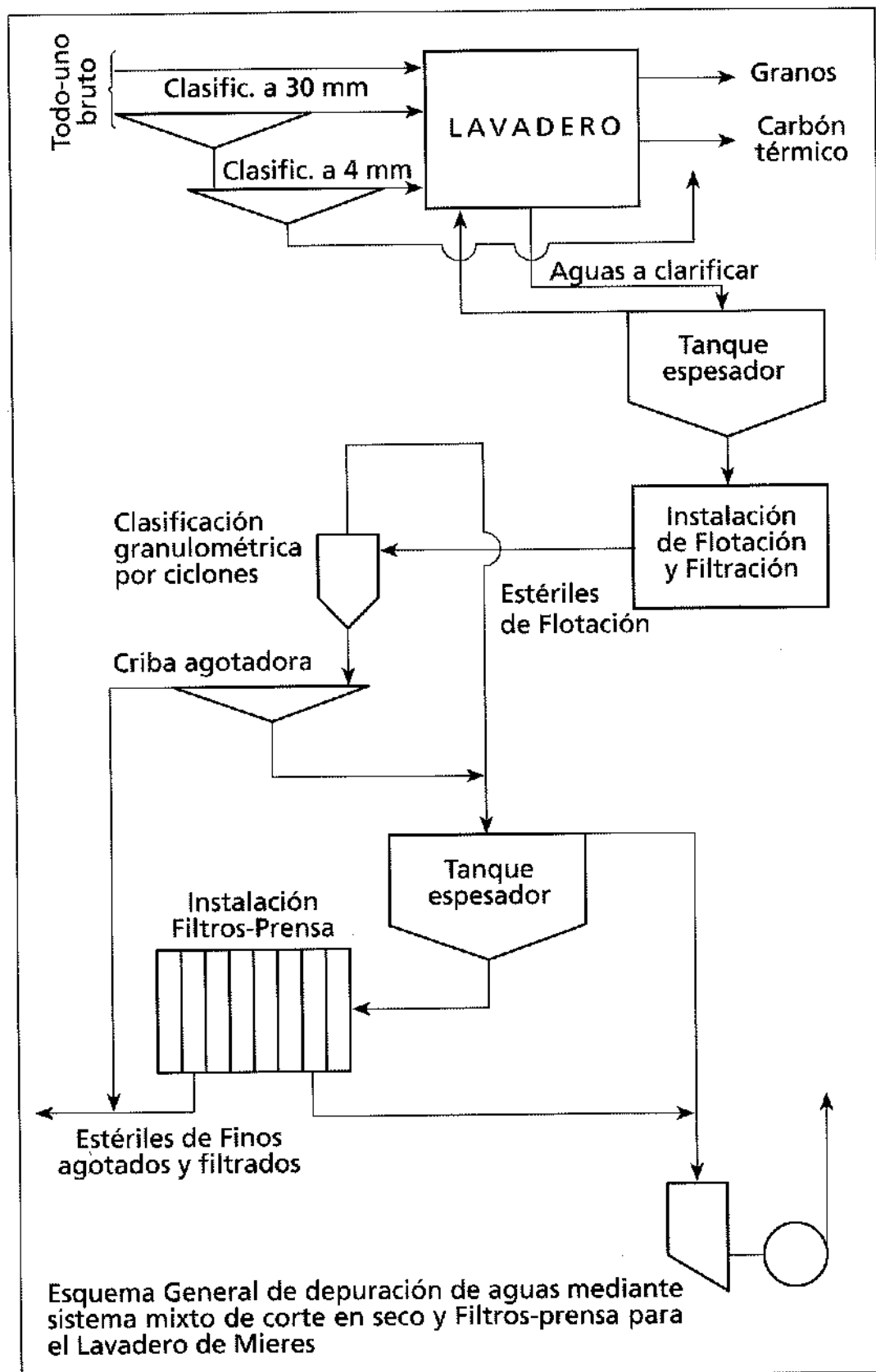
Lavadero de Mieres

El Lavadero de Mieres tiene una capacidad de 500 tb/h, empleando un tambor Wemco y un Leebar para el tratamiento de los granos, ciclones de medios densos para los menudos, y baterías de flotación Humboldt-Wedag para los finos.

Los estériles de flotación y las aguas residuales del lavadero son enviadas al río Caudal sin depurar.

El objetivo de depuración dentro de unas posibilidades operativas y financieras razonables, nos llevan a diseñar dentro de las instalaciones existentes, un corte en seco a 4mm para los





carbones que llegan al Lavadero procedentes de los Pozos San Nicolás y Montsacro, y que al ser transportados por la misma cinta, permitan la implantación de una instalación de cribado relativamente sencilla.

El resto del carbón, procedente de los Pozos Barredo, Tres Amigos, Polio y Olloniego, así como los rechazos de la criba de 4 mm, serán tratados en el Lavadero de forma convencional, realizándose la depuración de los afluentes mediante filtros prensa, evitando que éstos contaminen el río Caudal.

Lavadero de Sevilla

Este Lavadero, de 270 t/hora de capacidad, trata los granos y menudos brutos, por medios densos (una sola cortadura), y los finos por flotación y filtración de espumas enviando las colas de este al río Aller y siendo, por tanto, la instalación del lavado situada más en cabeza de los ríos Aller y Lena, por lo que sus emisores influyen decisivamente en la polución de un tramo importante de estos ríos (hasta su confluencia con el río Turón). Los estudios realizados nos permiten diseñar un tratamiento similar al del Lavadero de Turón: corte en seco a 4mm, y posterior tratamiento de las aguas que transportan los productos degradados mediante decantación y filtrado.

Lavadero de Carrocera

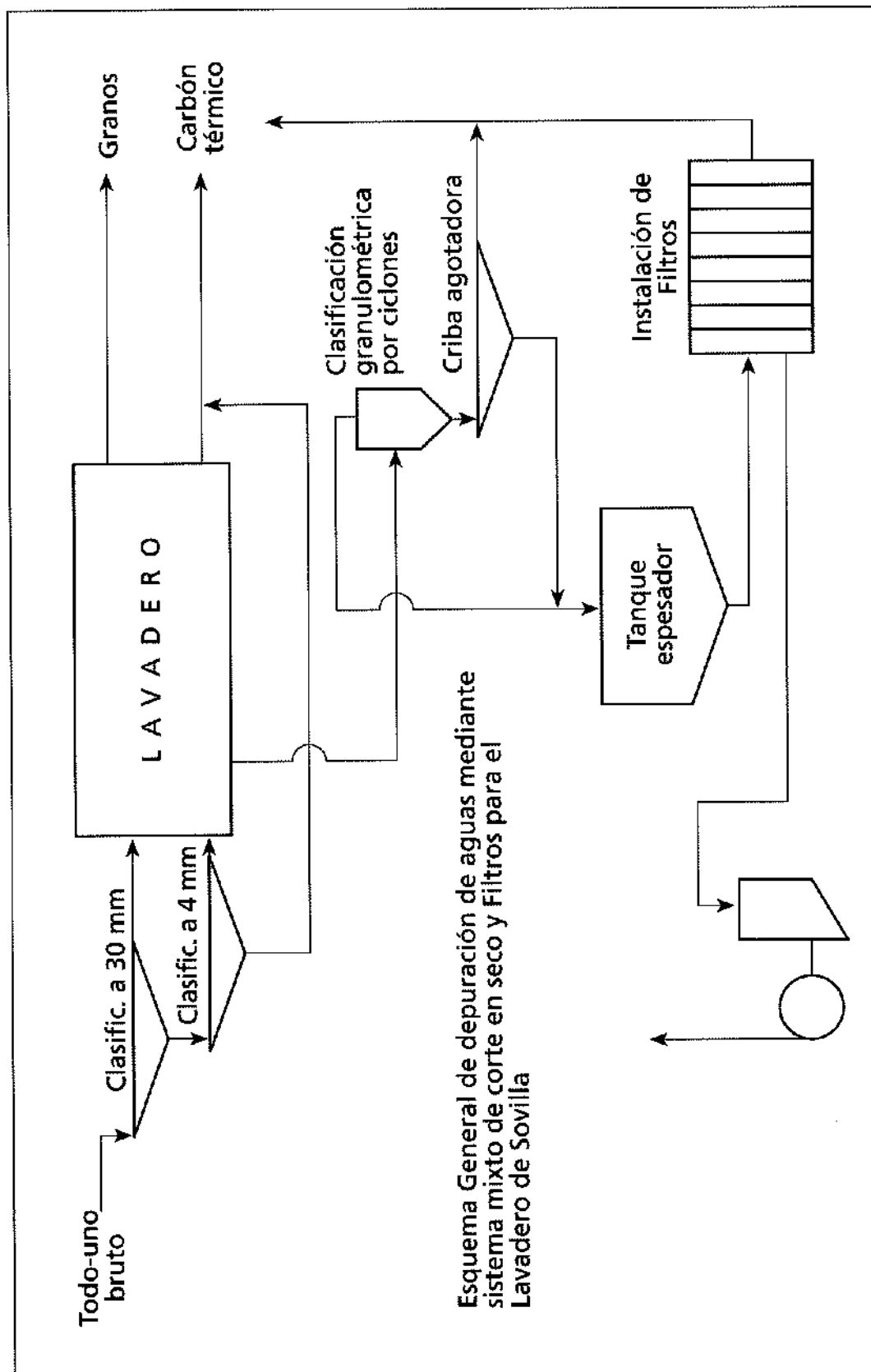
Este Lavadero, de 300 t/hora de capacidad, depura los granos por medios densos, en un Drewbay (de una sola cortadura), y el menudo, en dos cajas neumáticas PIC de tres productos, relevando posteriormente los mixtos en una caja de dos productos. Los finos se tratan por flotación y filtración de espumas, y las purgas de flotación se desaguan al río Nalón, siendo ésta la instalación de lavado situada en cabeza de este río.

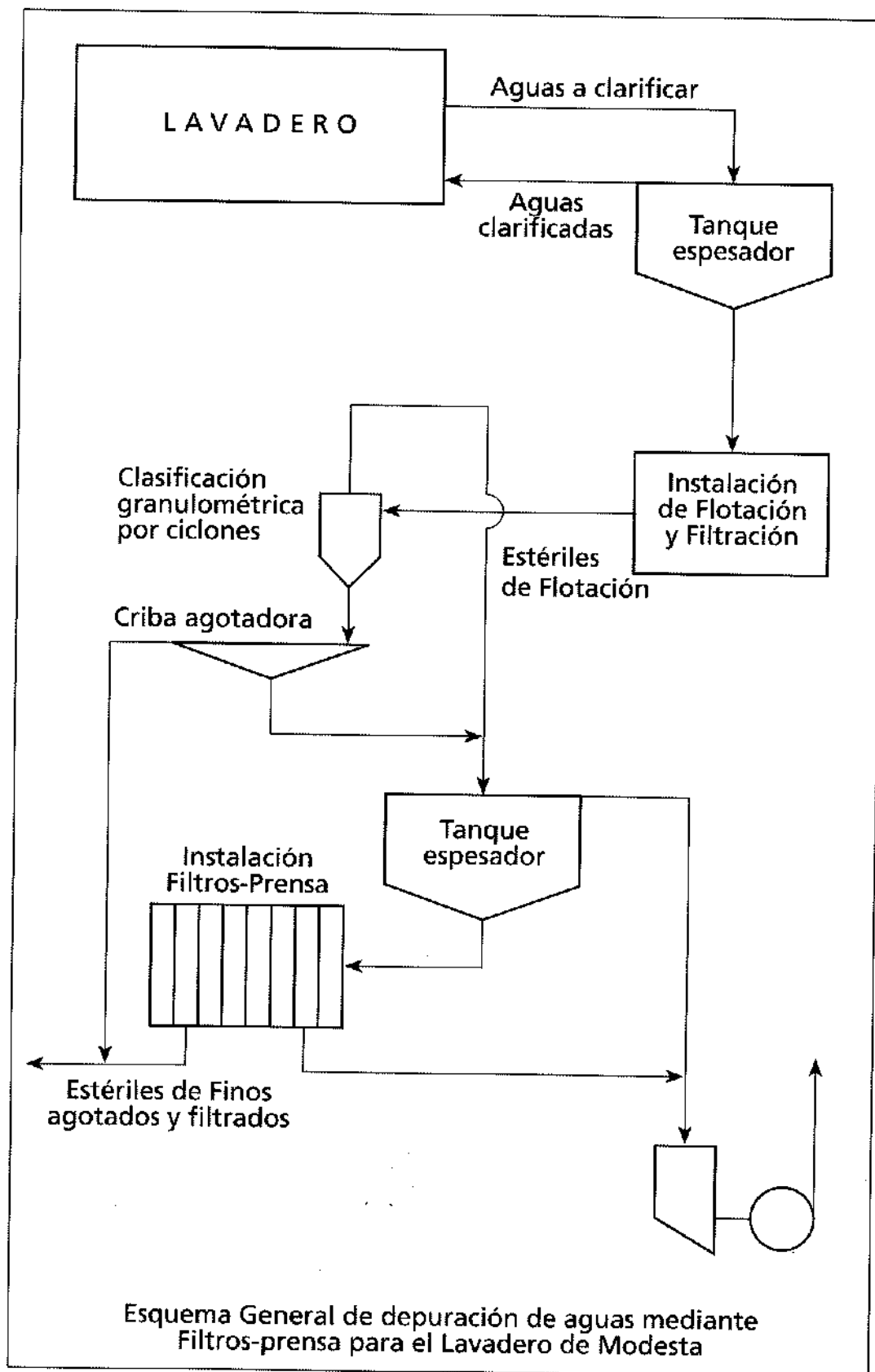
De las diferentes soluciones estudiadas se ha considerado como la más adecuada la de enviar la producción tradicionalmente tratada en este Lavadero al Lavadero de Modesta, situado a unos cinco Kilómetros aguas abajo, en donde se procederá a instalar un corte en seco a 4 mm, para el tratamiento de estos carbones.

Lavadero de Modesta

El Lavadero de Modesta, situado en la localidad de Sama, tiene una capacidad de 550 tb/h; los granos son tratados en tambor Wemco de dos cortaduras, la sección de menudos está formada por dos cajas de pulsación neumática tipo BATAC, y los finos son tratados en flotación. Los estériles de flotación pasan a un decantador, donde se obtiene agua que se recircula al Lavadero, y una pulpa espesa que se agota en filtros de vacío. Esta instalación no funciona correctamente, por lo que no puede considerarse resuelto el problema de depuración de aguas, ya que ocasiona la frecuente contaminación del río Nalón.

Como se ha dicho en el capítulo correspondiente al Lavadero Carrocera, a la producción actualmente tratada en el Lavadero Modesta se incorporarán los tamaños mayores de 4 mm,





procedentes de aguas de lavadero y obtenido en una instalación de cribado en seco.

La depuración de las aguas residuales se realizará mediante decantación y agotado en filtros prensa.

RESULTADOS ESPERADOS

Los estudios realizados nos permiten contemplar la solución de los vertidos de los Lavaderos a los ríos, desde la doble acción correctora de evitar vertidos con contenidos superiores a 80 mg/l, y la de reducir estos vertidos a cantidades mínimas, ya que es de esperar que en condiciones normales los Lavaderos trabajarán en circuito cerrado.

Los niveles de emisión, tanto en caudal como en sólidos en suspensión, estudiados, se indican en el cuadro adjunto, siempre considerando la hipótesis desfavorable de verter, no incorporando al circuito, las aguas filtradas en los filtros prensa.

	m3/hora	mg/l	T/año
Lavadero Mieres	59	80	18,7
lavadero Sovilla	4	80	1,1
Lavadero Turón	4	80	1,3
Total Caudal	67	80	21,1
Lavadero Modesta	54	80	17,2
Total Nalón	54	80	17,2
Total General	121	80	38,3

En todos estos vertidos no se incluyen las aguas de escorrentía de los correspondientes lavaderos.

CALENDARIO PREVISTO DE REALIZACION DEL PROYECTO

Año Lavaderos	1990				1991				1992			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MIERES												
TURON												
SOVILLA												
MODESTA												
CARROCERA (1)												

(1) Cierre lavadero Carrocera. Realización obras en lavadero Modesta.

INVERSIONES Y SU RENTABILIDAD

La inversión prevista en este proyecto es de 2.400 M ptas. en un período de tres años y de acuerdo con el calendario adjunto.

Esta inversión hay que contemplarla como una parte del saneamiento de las cuencas del Caudal, Nalón y Nora previstas en el Programa Nacional de Interés Comunitario (P.N.I.C.) de Asturias.

La inversión prevista en el P.N.I.C. de Asturias para saneamiento de los citados ríos es la siguiente:

Saneamiento río Caudal	4.071 MPTA
Saneamiento río Nalón	5.385 MPTA
Saneamiento río Nora	8.900 MPTA.
TOTAL	18.356 MPTA

El Proyecto "Depuración de Vertidos a los Cauces Públicos de los Lavaderos de Carbón de HUNOSA" puede ser estudiado desde un enfoque microeconómico, atendiendo a los parámetros de rentabilidad empresarial.

Se trata del análisis de un Proyecto de Inversión de 2.400 MPTA, que sólo tiene una compensación positiva de 60 MPTA/año durante el período de explotación, correspondiente a la diferencia entre el actual canon de vertidos y el que se deberá satisfacer por el futuro uso y mantenimiento de las instalaciones públicas del Programa Nacional de Interés Comunitario (P.N.I.C.) de Asturias. No se producirán variaciones en el nivel de ingresos de la Empresa, ya que los sólidos retenidos en el futuro proceso carecen de valor comercial.

La simplificación de los procesos de lavado prevista en el Proyecto, que corresponde a la eliminación de parte de los costosos y complicados sistemas de flotación, se compensa con el incremento de costes derivados de la utilización de las nuevas instalaciones de depuración, y con el transporte y el almacenamiento de los productos estériles retenidos. Por ello, tampoco habrá variación en el nivel de costes de operación durante el período de explotación.

Se trata, en consecuencia, de un Proyecto antieconómico y desaconsejable, bajo el simple enfoque microeconómico empresarial. Sin embargo, HUNOSA se siente profundamente comprometida con el progreso y bienestar de la Cuenca Central Asturiana, y decide acometer el Proyecto entendiendo que es totalmente necesario para el logro de unos beneficios socioeconómicos trascendentales para el futuro de las deprimidas comarcas mineras, en las que centra su actividad.

En este sentido, entiende el Proyecto de depuración de vertidos en los Lavaderos, como una parte complementaria e imprescindible del Proyecto de saneamiento de las cuencas fluviales de los ríos Caudal, Nalón y Nora, del P.I.N.C.

El análisis coste - beneficio se ha realizado para la actuación integral sobre las Cuencas, resultante de la superposición de dos proyectos de inversión que tienen un mismo objetivo económico-social, y que sólo puede ser conseguido si se acometen simultáneamente ambos proyectos.

En el citado análisis se estudian con detenimiento los parámetros que definen el proyecto integral, tales como inversiones, costes y un período de explotación, beneficios socio-económicos etc.

Los conceptos de inversión y costes de explotación atienden únicamente a aspectos meramente técnicos, fácilmente valorables, en los que no es preciso insistir, pareciendo razonable, sin embargo, un breve recordatorio resumen sobre beneficios socio-económicos, que constituyen el verdadero motor de la actuación.

Las obras hidráulicas presentan, generalmente, unas peculiaridades que dificultan la evolución de sus efectos en unidades monetarias.

El problema se acentúa en el caso concreto del proyecto de saneamiento, cuyos resultados suelen ser de carácter cualitativo, sin mercado propio de valoración económica. En este caso concreto, podemos enumerar algunos beneficios económico-sociales derivados de la actuación inversora:

- Recreativos asociados a la pesca
- Producción piscícola
- Recreativos de carácter turístico
- Ahorro de otros usos
- Mejora de la salud pública
- Conservación y recuperación de la biología regional
- Desarrollo de nuevas actividades en los sectores industrial y servicios
- Mejora de la calidad del agua

En el análisis socio-económico se ha hecho una valoración económica conservadora de los cinco primeros beneficios, y una descripción cualitativa de la importancia social de los tres restantes.

Atendiendo únicamente a los beneficios cuantificables se ha llegado a una Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) de 9,95, bastante ajustada en términos estrictamente económicos, pero aceptable si se tiene en cuenta que ha sido calculada con criterios conservadores, y sobre todo por el fin eminentemente social que se persigue.

CONCLUSIONES

Las soluciones estudiadas pretenden, por un lado, concentrar las seis actuales plantas de lavado - incluyendo la de Candín - a sólo cinco; tres en la Cuenca del Caudal y dos en la del Nalón. Por otro lado, introduce la novedad del corte en seco a 4 mm, que afectará a una parte de la producción de los Lavaderos de Mieres y de Modesta, y a la totalidad de los Lavaderos de Turón y de Sovilla, con el objeto de reducir el volumen de los efluentes a depurar, y las inversiones y costes de operación inicialmente previstos, como ya hemos indicado.

Los planes de ejecución se han establecido tratando de coordinar las fechas de puesta en funcionamiento de las instalaciones de depuración, a las previstas para el inicio de funcionamiento de las depuradoras generales del Nalón y Caudal, con los primeros tramos del interceptor general.

Los objetivos que se consiguen son muy claros:

Frente a los vertidos actuales, cifrados en unos 5.000.000 m³/año con unas 300.000 t. de sólidos en suspensión, los vertidos previstos de sólo 500.000 m³/año con unas 39 t de sólidos en suspensión, suponen un extraordinario avance en la lucha contra la contaminación.

Vertidos	5.000.000. m ³ /año	500.000 m ³ /año
Sol. en suspensión	300.000 t/año	39 t/año

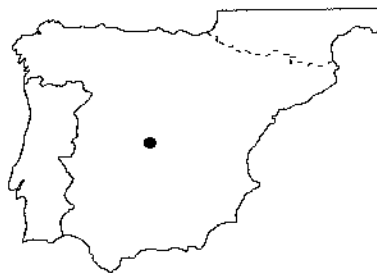
Por otro lado los citados vertidos se conectarán al correspondiente colector dadas las características de los mismos; 67 m³/h para el conjunto de la Cuenca del Caudal y 54 m³/h para el Nalón, con contenidos en sólidos en suspensión inferiores a 80 mg/l.

ENERO 1992

**EL AGUA Y LAS EXPLOTACIONES EN
TERRAZAS FLUVIALES.
CASO DE GRAVERAS**

Ponentes:

D. Miguel Martínez Argandoña



EL AGUA Y LAS EXPLOTACIONES EN TERRAZAS FLUVIALES.

CASO DE LAS GRAVERAS

GESTION DEL AGUA EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA GRAVERA

Autor:

MIGUEL MARTINEZ ARGANDOÑA

Ingeniero de Caminos

PIONEER CONCRETE HISPANIA, S.A.

INTRODUCCION

Las graveras son depósitos aluviales, procedentes del cua-ternario en su mayor parte, formados por paquetes de grava y arenas de diferentes espesores, situados generalmente en terrazas fluviales de mayor o menor antigüedad y a través de las cuales suelen discurrir los acuíferos superiores, conectados hidráulicamente con cauces naturales en la mayor parte de los casos.

El agua, es un elemento que aparece muy activamente en todo el proceso de fabricación de áridos de una gravera.

Convendría distinguir entre las graveras que se explotan bajo el nivel freático, donde la presencia del agua es constante y determinante, de aquellas en que no se alcanza este nivel, y por tanto la explotación se realiza en seco.

En nuestra exposición, vamos a referirnos exclusivamente al primer caso, que es más general y es donde el agua influye de manera decisiva.

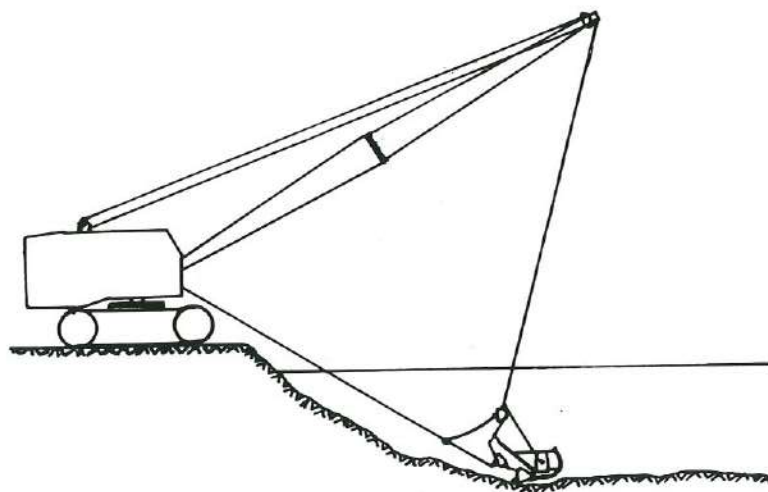
PROCESO DE EXTRACCION DE LA MATERIA PRIMA.

En esta fase de la operación, nos encontramos con el problema de que parte de la materia prima, (zahorras naturales), se encuentra ubicada bajo el nivel freático, lo cual afecta tanto a la falta de visibilidad del proceso, como al sistema a utilizar para realizarlo.

Para resolverlo existen dos tecnologías básicamente diferentes. La primera y la más habitual, consiste en la extracción mediante máquinas que draguen de alguna forma los materiales depositados en el lecho. La segunda consiste en reducir el nivel freático, hasta que se haga visible el muro de gravas, y proceder a la extracción convencional de material seco, como si de una cantera se tratara.



Dragalina en operación de extracción dragando.



Esquema de dragalina.

2.1. EXTRACCION MEDIANTE DRAGADO.

El sistema es fácil de imaginar, una máquina provista de un cazo, cuchara o cangilón, que se introduce en el agua para arrancar y extraer los materiales del substrato de gravas, y que posteriormente se depositan en el suelo, tolva, dumper, cinta, etc...

Existen varios tipos de máquinas para este trabajo. La dragalina es la más corriente, es una máquina provista de una gran pluma que a través de cables lanza una cuchara al agua para extraer mediante arrastre los materiales del fondo.

La retroexcavadora es otra máquina habitual, pero muy limitada por el alcance de su brazo.

Los scrapers, basados en la concepción de la dragalina, pero con un punto de sustentación en el otro extremo del lago a dragar, realizando la extracción también mediante arrastre.

Las dragas flotantes, que mediante un sistema de cangilones, en algunos casos mediante succión por bombeo, apoyados en una balsa flotante, hacen la extracción de los materiales que yacen en el fondo.

Sin entrar a analizar las características particulares de cada uno de estos sistemas, ya que excede del ámbito del tema a tratar, sí podemos advertir las ventajas o inconvenientes del procedimiento de extracción mediante el dragado.

- Entre las primeras podemos destacar:
- Sencillez del sistema.
- No necesitar una buena planificación para emplearlo.
- Poder utilizarse en todos los casos.

Entre los inconvenientes podríamos distinguir:

- Es más costoso.
- Requiere una mayor inversión en maquinaria más cara.
- Imprecisión en la extracción por falta de visibilidad.
- Requiere personal más experto.
- Inseguridad sobre el agotamiento del fondo del yacimiento.
- Falta de calidad en el producto extraído, igualmente por la falta de visibilidad.
- Riesgo de hundimiento de las máquinas en las zonas lagunosas, con el consiguiente peligro para los que las utilizan, etc.

2.2. EXTRACCION MEDIANTE AGOTAMIENTO DE LA CAPA FREATICA.

Este segundo sistema es notablemente más complejo por afectar al funcionamiento de los caudales subterráneos y por tanto, por extender su influencia a áreas adyacentes.

El sistema está basado en una tecnología muy utilizada en la construcción, comunmente conocido como método «wellpoint». Este consiste sencillamente en formar una pantalla de pozos con sus respectivas bombas, rodeando la zona a agotar, y manteniendo permanentemente el nivel de agua a la altura deseada.

Sobre esta idea básica existen diferentes variantes, como puede ser mediante un sistema de zanjas, bombeando a partir de ellas; otro puede ser creando una pantalla impermeable para luego desecar en su interior, etc.

El más simple y sencillo consiste en crear una red de zanjas que rodeen la zona de trabajo, profundizando con ellas lo máximo posible en cada etapa. Sería ideal llegar con la zanja hasta el lecho en el que se apoyan las gravas, fundamentalmente si éste es impermeable como ocurre en la mayoría de los casos.

Si esto no es posible, en una primera etapa profundizaremos la zanja hasta el alcance máximo de nuestra máquina. Seguidamente procederemos a bombear desde el punto más bajo de la red de zanjas, hasta comprobar que no existen flujos apreciables desde la zona rodeada hacia la zanja. A continuación procedemos a la extracción en seco de la parte desecada hasta alcanzar el nivel de la zanja.

Sin dejar de bombear, comenzamos la siguiente fase con un nuevo zanjeo, colocando las bombas en el nuevo nivel, rebajamos la cota de agua hasta el fondo de la nueva zanja y continuamos el ciclo hasta llegar al techo del yacimiento.

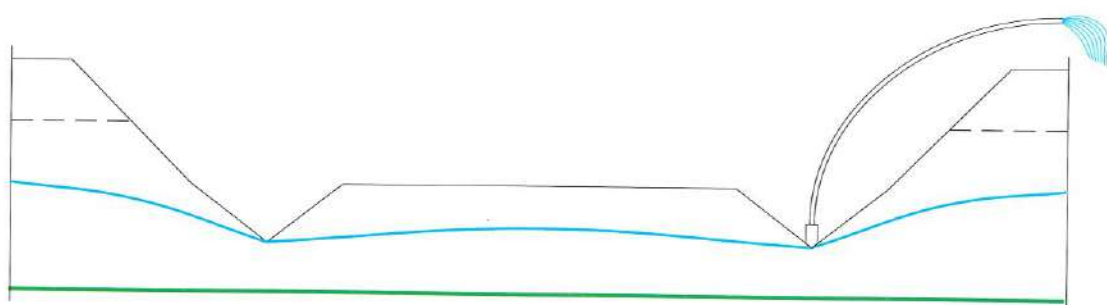
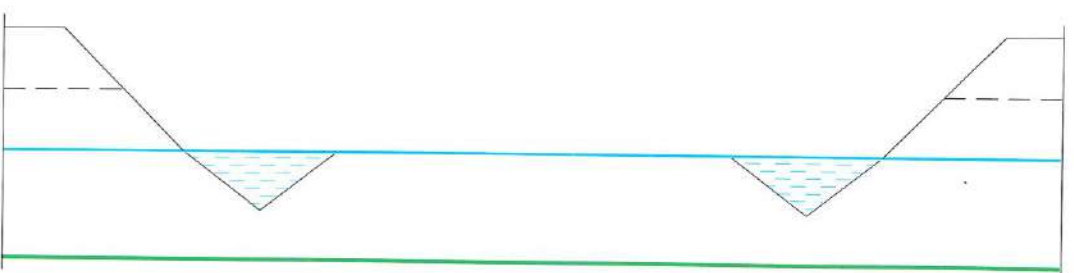
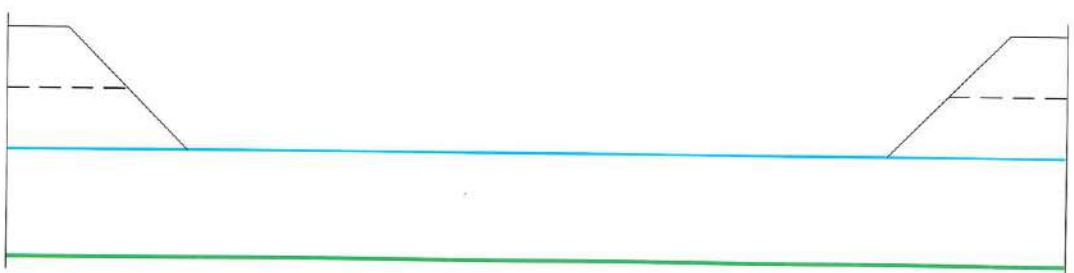
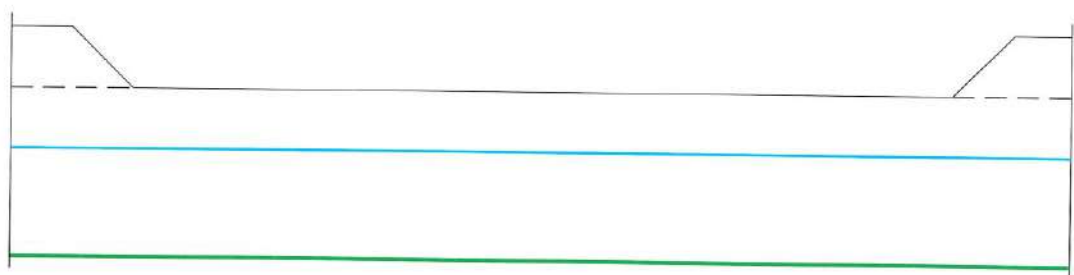
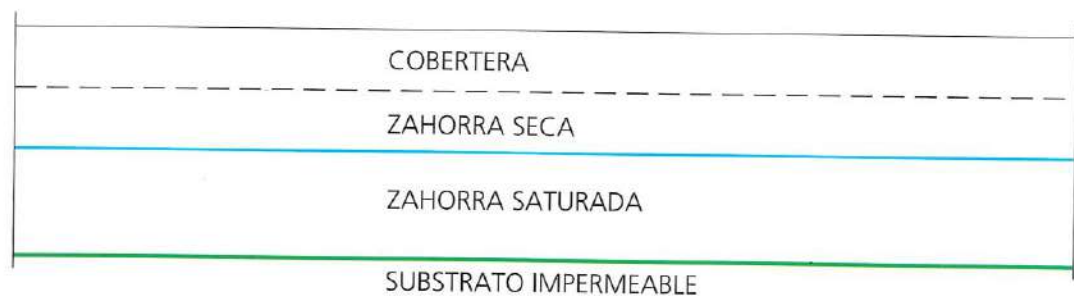
No obstante, este sistema es complejo como decíamos antes, en cuanto a la influencia que puede ejercer en el acuífero correspondiente, y el comportamiento hidrodinámico del mismo. Sin olvidar las variaciones que puede provocar en los niveles más cercanos afectados, como puede ser la existencia de pozos, vegetación, etc. Normalmente los radios de influencia para acuíferos libres suelen oscilar entre los 100 y 500 m.; tratándose de cautivos puede aumentar esta distancia a los 3.000 m. En consecuencia, según el sistema utilizado y las circunstancias particulares, habría que hacer un estudio de la zona de influencia del acuífero y sus posibles repercusiones.

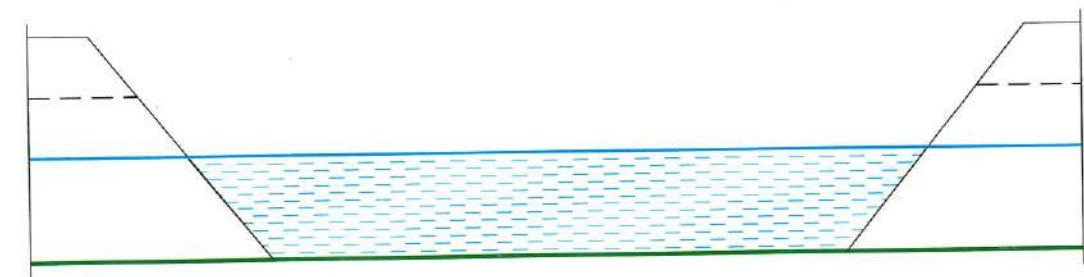
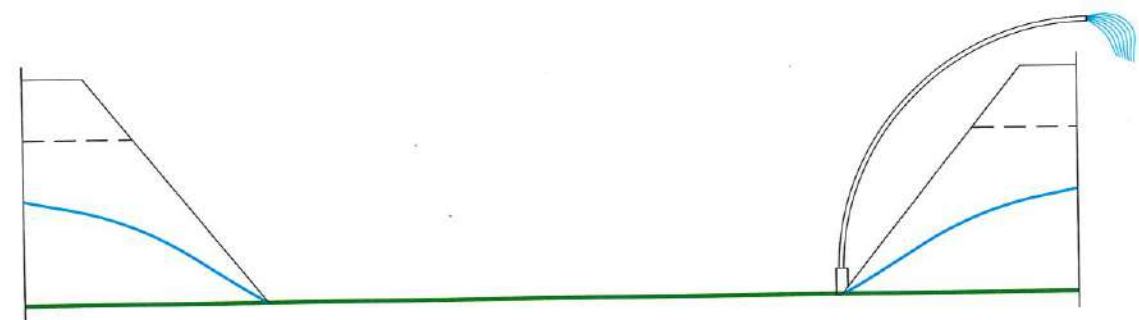
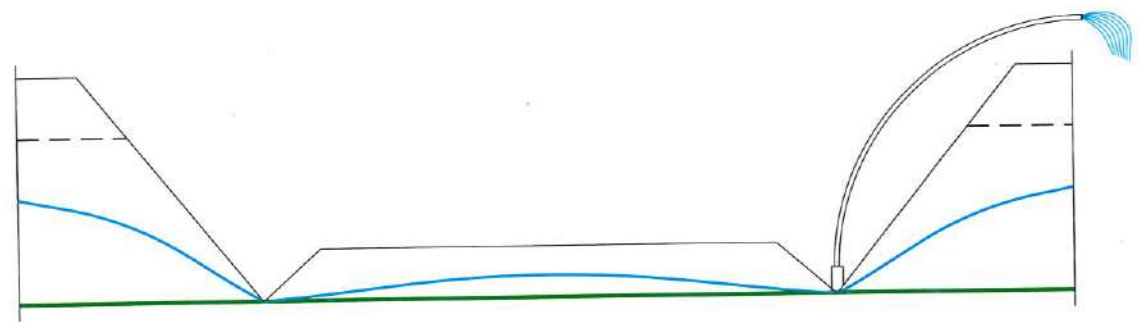
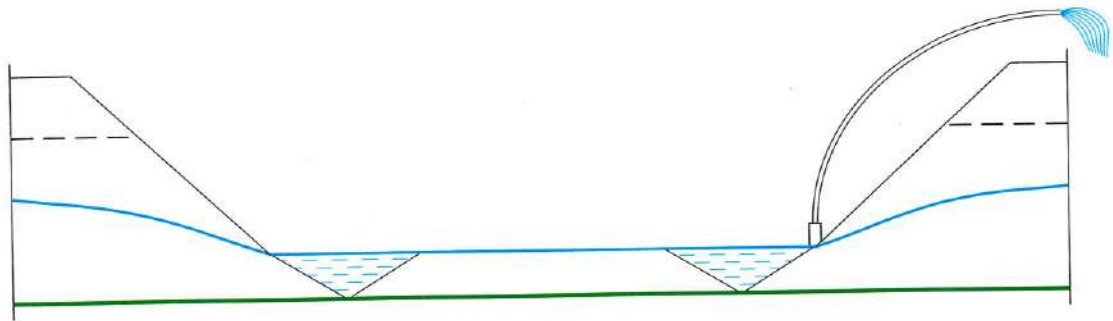
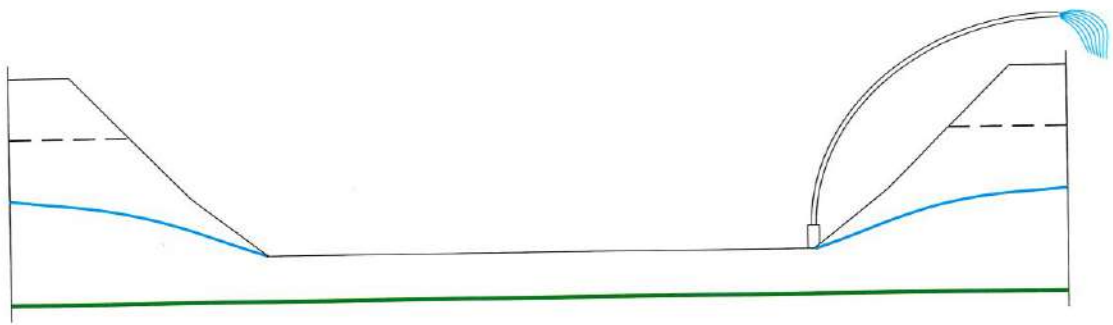
Otro punto a tener en cuenta es el vertido de las aguas producto del bombeo. Lo más sencillo y cómodo es realizarlo a un cauce cercano, con lo cual logramos alejar éstas de nuestra zona de trabajo, no afectando normalmente a la calidad de las aguas del cauce destino, debido a que no hemos realizado ninguna manipulación que pueda suponer un deterioro de sus constantes químicas.

Pero en la práctica, la mayor parte de las veces esto no es posible; bien porque no exista ningún cauce próximo, o bien porque la escasez de agua del acuífero y sus aportaciones no permite desperdiciar alegremente este bien tan escaso que poseemos que es el agua. Este es un asunto que deberemos consultar con el organismo de cuenca correspondiente, y en su caso realizar los estudios pertinentes.

Entonces, para la mayor parte de los casos, en que no se pueda realizar el vertido a un cauce fluvial, deberemos establecer un circuito cerrado, efectuando el vertido en el mismo acuífero,

FASES DEL PROCESO





normalmente en otra laguna del mismo, para recargar por un lado lo que hemos extraído por otro. Esto hace, que al retornar el agua por filtración a través del propio acuífero a nuestra zona de trabajo, la capacidad del bombeo debe ser superior al caso anterior. Igualmente las zonas adyacentes afectadas por los descensos de los niveles son menores debido a esta recarga continua que establece el circuito cerrado.

Una vez visto el proceso de manera rápida, surge la pregunta lógica: ¿En qué casos puede utilizarse este sistema? ¿Cuándo resulta más barato que el método tradicional? Como tantos otros problemas de la vida cotidiana, no tiene una respuesta única, sencilla, ni tan siquiera una fórmula matemática que a todos nos gustaría aplicar.

Sí parece evidente, que requiere ciertas condiciones para poderse llevar a cabo, como son la existencia bien de un cauce próximo, canal o similar, o un hueco lagunar con el que poder establecer el circuito cerrado, como sistema más adecuado para la infiltración artificial.

La rentabilidad del sistema, está marcada lógicamente por la comparación de costos con el sistema tradicional. Y la viabilidad del método depende de manera muy directa del costo del bombeo, que es función de varios factores, y es el que define el límite para hacer el sistema rentable o no.

Existen por lo tanto una serie de parámetros que inciden directamente en el costo del bombeo, que según su combinación nos harán optar por un sistema u otro.

Estos son:

- **Superficie de área a extraer:**

Cuanto mayor sea la zona que deseamos desecar, mayor será la capacidad de bombeo que precisaremos, puesto que el caudal de entrada del acuífero es proporcional al perímetro de nuestra zona. Este es un factor que podemos controlar con ciertas limitaciones, reduciendo nuestra zona de trabajo en parcelas más pequeñas, con unos ciertos límites de operatividad.

- **Potencia del yacimiento:**

De la misma manera el caudal entrante del acuífero proporcional a la superficie de paso, portanto será mayor cuanto mayor sea el espesor de gravas en la zona saturada del acuífero.

- **Constantes hidráulicas del acuífero:**

La conductividad hidráulica, muy importante en los casos de las gravas y arenas, 10 a 10.000 m/día, es también factor determinante en nuestra capacidad de bombeo.

- **Producción:**

La producción de nuestra cantera también es un factor a tener en cuenta, puesto que para producciones más pequeñas deja de ser rentable el método, ya que el costo del sistema de bombeo es un costo fijo que no depende de la producción, y deberemos mantener el nivel de agua de una determinada cota con un determinado costo que es independiente del ritmo de extracción de cantera.

La complicación en la práctica, viene de la gran variedad del comportamiento de la permeabilidad de unas zonas a otras, dentro de una misma terraza, e incluso con variaciones importantes según las direcciones, debido a la anisotropía del terreno. La propia naturaleza de la formación de estas terrazas, antiguos cauces mezclados y superpuestos, hacen que la aparición de diferentes paleocauces nos modifiquen las condiciones de transmisión de agua en el terreno, con la aparición de veneros localizados con gran influencia en nuestras condiciones de bombeo.

En la cuenca del río Jarama, como ejemplo, se han obtenido coeficientes de transmisibilidad del orden de 1.000 a 5.500 m²/día, con zonas de trabajo de 2 a 4 Ha., con potencias de 4 a 8 m., y un ahorro de costos del orden del 20%.

LAVADO DE LOS ARIDOS

El lavado de los áridos, producto de una extracción de grava, se hace necesario para dar la calidad y limpieza requeridas para su uso posterior en la construcción en general.

Es, en consecuencia, otro momento donde la presencia del agua se hace fundamental. En este caso, a requerimiento nuestro.

El proceso de lavado de los áridos es más enérgico en función del grado de suciedad con que aparezcan en su estado natural. En definitiva consiste en la separación por vía húmeda del conjunto de elementos y partículas que aparecen en compañía o adheridas tanto a las gravas como a las arenas, siendo normalmente arcillas o limos.

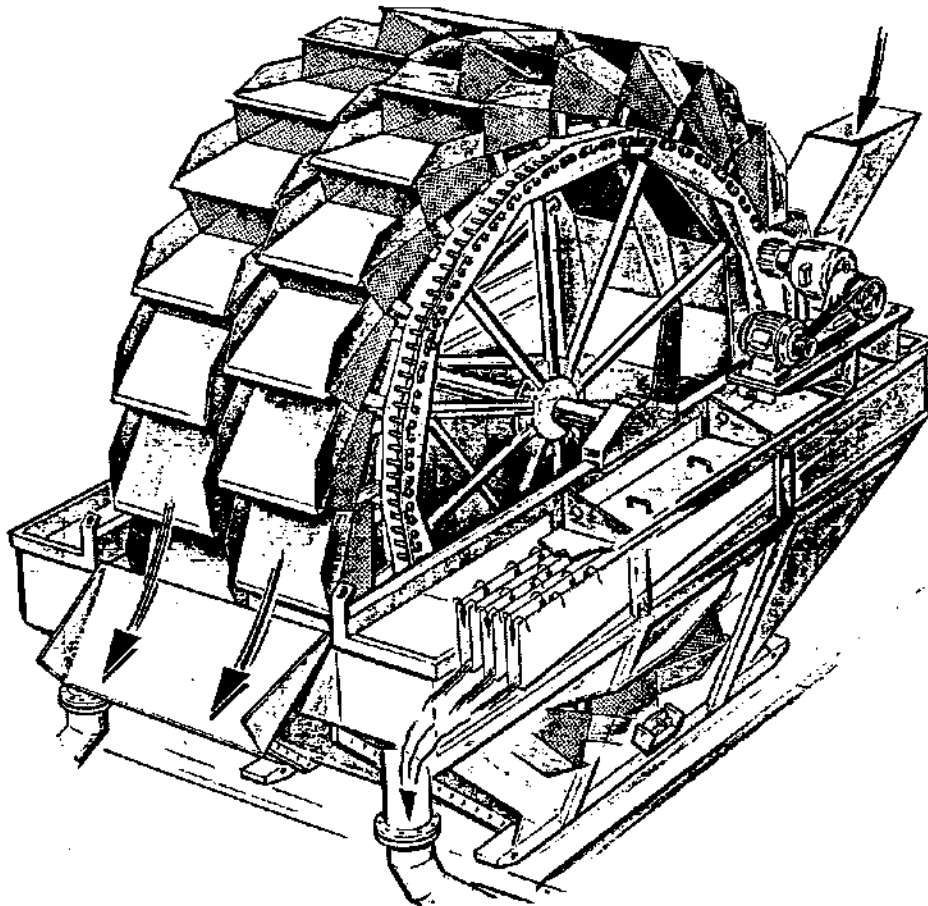
Ya que hemos hecho una distinción entre gravas (mayor 5mm) y arenas (0-5 mm), conviene tratar por separado el proceso de lavado de ambos.

El lavado de los áridos gruesos se realiza normalmente junto a la operación de cribado, instalando unas rampas de lavado en la parte superior de los paños de criba, que proyectan agua a presión al paso de los áridos. Estas aguas son recogidas por la parte inferior junto con la suciedad que llevaba el árido. En ocasiones también se utilizan rampas especiales de lavado, tromeles, lavadores de paletas o incluso tornillos sinfín, para los casos en que el lavado precise ser más enérgico.

El lavado de las arenas, en un principio puede sufrir el mismo proceso que el árido grueso, es decir, paso bajo rampas de lavado, cribas, tromeles, etc. Pero normalmente, de la operación de lavado en criba, salen las arenas junto con el agua y el conjunto de suciedad de todos los áridos. Es ahora cuando hay que hacer una operación adicional, que es la separación de la arena ya lavada, del agua con los elementos en suspensión, arcillas y limos.

Para esta, existen varios tipos de maquinarias. Las más utilizadas por su sencillez y economía son las ruedas decantadoras, o decantadores de cangilones. Comúnmente conocidas como «norias», consisten en realizar un batido de la pulpa en una cubeta, para asegurarse de la separación de los granos de arena de los finos indeseables. En el transcurso del proceso, las arenas más pesadas se van depositando en el fondo de la cubeta, desde donde los cangilones de la rueda las van recogiendo, escurriendo el agua mediante unos orificios que lleva cada cangilón, y las van depositando generalmente en una cinta para su transporte. Por otro lado, el agua en el interior de la cubeta con las partículas en suspensión, sale por la parte superior mediante un rebosadero.

La eficacia de la separación consiste en crear la necesaria turbulencia como para que no decanten las partículas finas, aunque no la suficiente para que se pierdan por el rebosadero



Noria decantadora

los granos finos de arena; y procurando para esto una velocidad de vertido mínima, sin menosprecio del caudal, para lo cual es conveniente aumentar la sección de vertido, con lo que deberemos ampliar al máximo la longitud de rebosadero, en aras de lograr la velocidad más baja posible, dando tiempo a la decantación de los granos de arena fina que nos interesa.

Este tipo de máquinas, aún con la ventaja de ser las más baratas, tanto de adquisición como de mantenimiento, sólo son adecuadas para arenas no muy sucias, debido a que su lavado no es muy intenso.

Otro tipo de separadores son los tornillos sinfín, cuya mecánica de funcionamiento es bastante conocida. En definitiva es un proceso parecido al anterior, con la diferencia de que las arenas son extraídas mediante los álabes del tornillo. Esta segunda clase, es más cara que la anterior aunque con un lavado más enérgico.

Otro importante método, es el del ciclonado, también bastante conocido por utilizarse en otros procesos industriales. Consiste en lograr la separación entre las arenas y el agua con los finos de rechazo, mediante el empleo de la centrifugación.

Este último sistema es además del más eficaz, el más caro, tanto en adquisición como en mantenimiento, empleándose sólo en casos de extrema suciedad, o cuando la clasificación es muy exigente.

VERTIDOS.

Una vez realizado el lavado, nos encontramos con el problema de qué hacer con el agua procedente del mismo, con las partículas finas en suspensión. Como es un tema tratado monográficamente en otras ponencias, no vamos a profundizar en él.

Destacaremos que en casi todos los casos, el aporte de estos vertidos a cauces naturales es exclusivamente materia sólida en suspensión, no modificando las cualidades químicas del cauce receptor, ya que normalmente el conjunto cauce fluvial, acuífero y gravas de terraza suelen presentar unas características químicas no muy dispares.

Por lo tanto la mayor repercusión consiste en el aporte sólido, que puede tener influencia en el comportamiento dinámico del cauce aguas abajo.

Por esta razón es necesario realizar las operaciones de decantación de los limos y arcillas para enviar al río un fluido con similares características al que circula por él.

En los casos en que no es posible verter en un cauce, o no es conveniente por la pérdida de agua que supone, se debe establecer un circuito cerrado con un proceso de decantación intermedio, de forma que el agua llegue a la estación de lavado con la suficiente limpieza para continuar el ciclo.

El producto de este proceso de decantación, (los finos de rechazo del lavado), lejos de ser un estorbo como antiguamente se consideraba, en la actualidad puede constituir un producto útil para los procesos de restauración.



Vertido de lodos en una gravera.

EL AGUA Y LOS FACTORES AMBIENTALES EN LAS GRAVERAS

El proceso de extracción bajo la capa freática, deja al descubierto la lámina de agua correspondiente al acuífero, como hemos visto anteriormente. Podríamos decir que abre una herida en ese acuífero, dejando libre y expuesta a todos los agentes enemigos exteriores esta porción de agua que sacamos a la luz.

Es por esta vía por donde vienen todos los problemas ambientales, que hasta el momento no se tenían en cuenta.

Esta problemática tiene que ver directamente con la restauración. Y aquí hay que hacer dos grandes distinciones en cuanto a su tratamiento.

- Por un lado, las restauraciones que restituyen el terreno a su estado original, con usos iguales o similares a los anteriores. Con sus técnicas y tratamientos, pero que no vamos a detenernos por tener un menor protagonismo el agua.
- Por otro lado, las restauraciones basadas en la permanencia de la lámina de agua, con soluciones de tipo lagunares.

La elección de este tipo de restauración viene dada por un interés concreto hacia esta modalidad, o bien porque las condiciones del medio no nos permitan elegir la solución del relleno de lagos.

Pero, antes incluso de poner en explotación la gravera, hay que planificar qué restauración queremos hacer, qué objetivos pretendemos cumplir, y qué tipo de uso o destino vamos a dar a estos cuerpos lagunares.

Entre estos caben tres formas de enfocarlos:

- Por un lado, el uso tumultuoso de esparcimiento al aire libre, caza, usos deportivos, de navegación, etc...
- Por otro, la opción de la conservación de la naturaleza a ultranza, con una calma casi absoluta, cerrado al público, y para uso exclusivo de investigación científica.

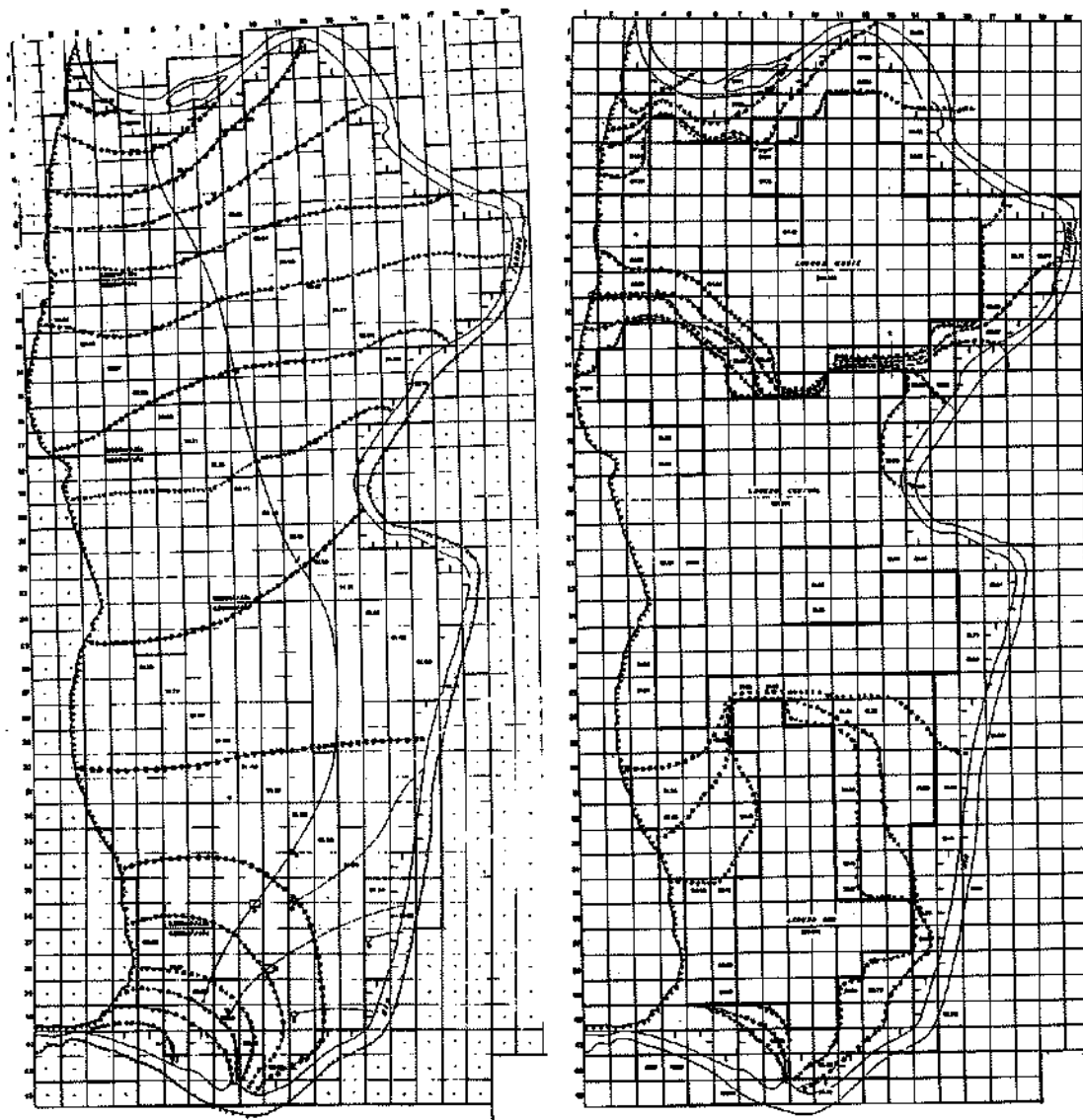
Y una tercera opción, que podemos considerar mixta. Está basada en la conservación con visitas guiadas o controladas, labores educativas, etc...

Los puntos que a continuación vamos a desarrollar, tienen mayor relación con las dos últimas opciones, puesto que la primera es más entendida popularmente, y en algunos aspectos son de aplicación las medidas de las otras dos.

La elección del tipo de restauración basado en la conservación, no es sólo una demanda creciente en medios naturalistas, sino que es también una necesidad, ya que según datos del M.O.P.T., en los últimos 50 años ha habido una reducción del 75% de los humedales de nuestro país.

En la Comunidad de Madrid, por ejemplo, antes de la regulación de los ríos, existían zonas de frecuentes inundaciones o desbordamientos, que permitían la vida de un gran número de especies, que utilizaban estas zonas encharcadas. Los eficientes planes de regulación de los cauces fluviales han hecho casi desaparecer las inundaciones, con gran repercusión en los ecosistemas ligados a ellas.

La creación de estos complejos de humedales de interés naturalístico, así como la reconstrucción de habitats acuáticos y semiterrestres, deben ir asociados con la dinámica fluvial existente antes de la perturbación.



MAPAS DE ISOPIEZAS ANTES Y DESPUÉS DE LAS LAGUNAS.

Todo esto requiere detallados estudios del comportamiento de los lagos, que incluso los limnólogos, hasta la fecha, no han entrado a evaluarlo con la profundidad requerida.

Es preciso seguir la evolución de los diferentes mapas de isopiezas antes y después de la aparición de las lagunas, que nos van a servir de base para estudiar los comportamientos de los flujos subterráneos y su incidencia en la calidad de las aguas. Para esto, se hace conveniente la instalación de limnómetros, e incluso algún lisímetro, que nos ayuden a confirmar o modificar nuestras previsiones.

La afección al paisaje es otro aspecto a tener muy en cuenta en este tipo de decisiones. Es muy evidente que estas soluciones transforman de manera importante la visión paisajística anterior. Pero este cambio no tiene por qué ser negativo. El nuevo paisaje irá sustituyendo al anterior, con un carácter palustre, con dominancia de masas de agua, y gran animación visual y acústica, debido fundamentalmente a las aves.

Es conocido que los gustos paisajísticos son muy subjetivos y variados, pero está probado que hay un gran número de personas que ven más agradable esta nueva sensación que la monotonía de un campo cultivado.

Pero este tipo de restauraciones presenta una serie de problemas que es necesario evaluar, corregir, o por lo menos mitigar, en la medida de lo posible.

Uno de éstos es sin duda la evaporación, con consecuencias directas sobre la salinización del agua. No obstante, cuando hablamos de evaporación como factor de pérdida de volumen líquido, no debemos tratar a la ligera este concepto sin compararlo con la situación anterior a la existencia de la lámina de agua libre. Hay que calcular la evapotranspiración existente, que en algunos casos puede ser importante, en función de las características del suelo y el uso, que puede hacer que la diferencia con la evaporación directa posterior de agua libre no sea importante. Este es un aspecto que algunos científicos están reclamando en la actualidad.

A partir de datos de la estación de Arganda en Madrid, para un estudio realizado en la zona, se han obtenido datos de 1.200 mm de evaporación anual, para una evapotranspiración real entre 337 y 387 mm, con una precipitación media de 428 mm.

En cuanto a la salinización, ésta puede ser favorecida tanto por la evaporación de las lagunas, como por la disolución de compuestos salinos que existan en el entorno.

Para analizar estos problemas, se ha realizado un modelo de simulación en una zona del Jarama, obteniéndose que las concentraciones de cloruros de las lagunas futuras, si bien aumentan en un principio, tienden a un valor constante entre 4 y 6 m.e.q./l. En algunos casos se detecta que con el tiempo disminuye la concentración de cloruros, respecto a su estado inicial antes de formarse la laguna. Esto es debido a que en su estado inicial recibían todo o mayoritariamente el flujo subterráneo del acuífero, con la influencia de, tanto los compuestos orgánicos utilizados en agricultura, como de los compuestos salinos solubles que van creando un gradiente de mineralización a lo largo del terreno. Posteriormente, al aparecer la laguna, las variaciones de las líneas de flujo hacían que la aportación del río por filtración tuviese mayor relevancia, y teniendo ésta menores concentraciones que el agua del acuífero en ese punto, daba como resultado una mejora del nivel de cloruros con el tiempo.

En particular, estas lagunas estudiadas, contiguas en el sentido de avance del acuífero,

daban como resultado según el modelo aplicado, las siguientes cifras:

Concentración de cloruros en m.e.q./l

LAGUNA	ANTES DE LAGUNA	DESPUES DE 15 AÑOS LAGUNA
A	4,43	4,96
B	4,75	6,38
C	6,58	6,31

Observándose también unas altas tasas de renovación, con un corto tiempo de residencia, por lo que la salinización no es excesiva. Es importante de cualquier forma garantizar la circulación del agua para mantener su calidad.

Es conveniente hacer una comparación de las características físico-químicas del acuífero con respecto al río al que está conectado. Encontrándose en el estudio mencionado, una mayor mineralización de las aguas subterráneas del acuífero que las del río, aumentando ésta a medida que avanzamos en el acuífero. Sin duda estas concentraciones de nutrientes son originadas por filtraciones procedentes de los abonos del campo.

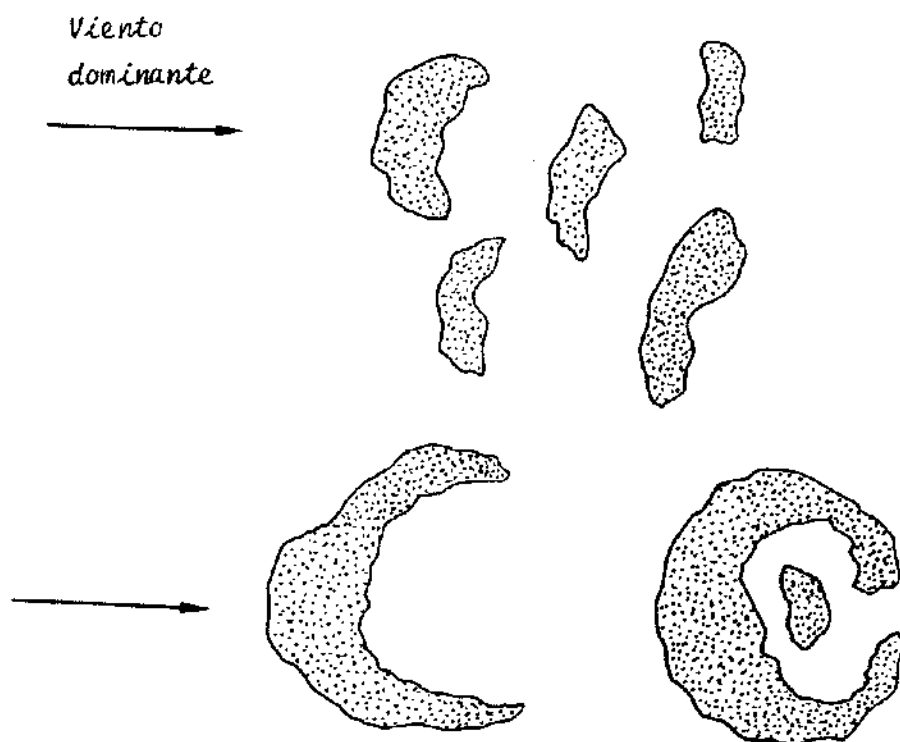
En cualquier caso, debemos asumir un cierto grado de eutrofización, ya que partimos de unas aguas con presencia variable de nitrógeno y unos ríos generalmente contaminados. Pero esto no quiere decir, ni que no se puedan acometer los usos establecidos, ni que debamos abandonar estas aguas a un incontrolado aumento de su degradación.

Para ello, es muy importante el cuidado en las etapas iniciales tanto del llenado como de la colonización de especies. Un detallado conocimiento de las características del agua, tanto del río como del acuífero nos pueden ayudar en este cometido a controlar la carga de nutrientes en las lagunas. En otro sentido, inicialmente deberíamos también controlar el tipo de comunidades a instalar, retirando algunas o introduciendo otras. Incluso es importante no introducir peces en los 3 ó 4 primeros años, y cuando se haga, que sean en principio insectívoros. Como curiosidad en una laguna con más de 10 años de antigüedad, se han encontrado concentraciones de ortofosfatos superiores al resto, llegándose a la conclusión de que puede ser debido al gran número de gaviotas, anátidas y fochas que utilizaban la superficie de estas aguas como descanso.

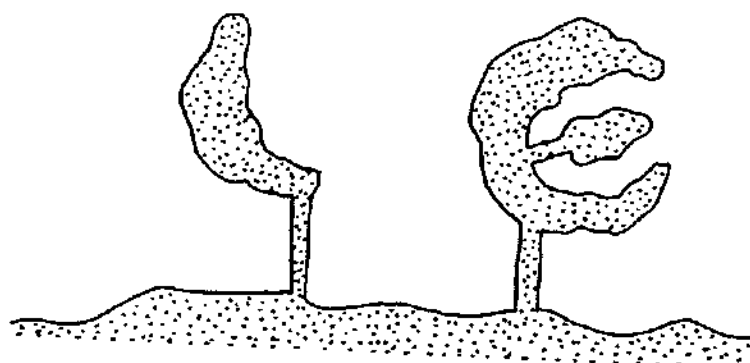
En esta lucha contra la eutrofización, es muy importante tomar las primeras medidas para evitar la proliferación de algas, si no se consigue, es luego ya muy difícil parar el proceso. Para ello, un sistema que ha dado buenos resultados tanto en Alemania como en graveras en Inglaterra, es la eliminación de los nutrientes a base de macrófitos, que los asimilen reduciendo su concentración.

En cuanto a las comunidades acuáticas que debemos esperar, son las propias de aguas eutróficas, sin un interés especial. Sí, por, el contrario presentan gran interés la variedad de aves y otros vertebrados que encontrarán un lugar adecuado para su desarrollo.

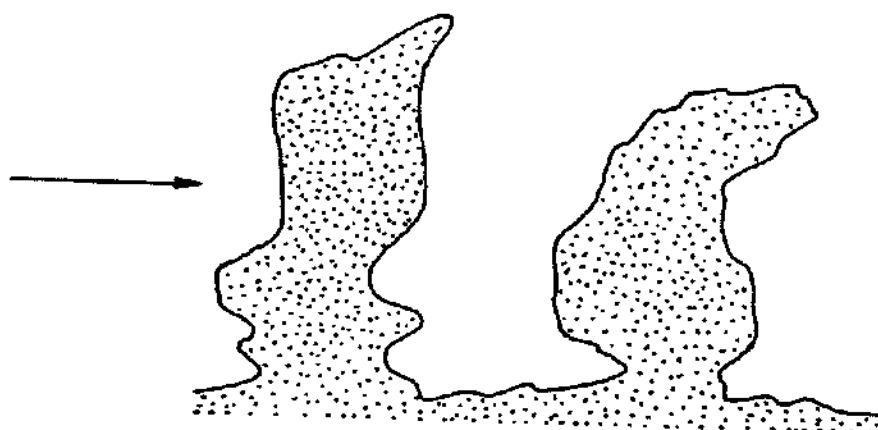
Para favorecer o lograr la adaptación de esta fauna, incluso de una flora de interés, es necesario prestar una gran atención y planificación en las labores de restauración. Para esto, es necesario concentrar los materiales de cobertura estériles, en puntos clave ya predefinidos para dar formas y perfiles adecuados al efecto que queremos provocar (ver figuras). Creación de islas



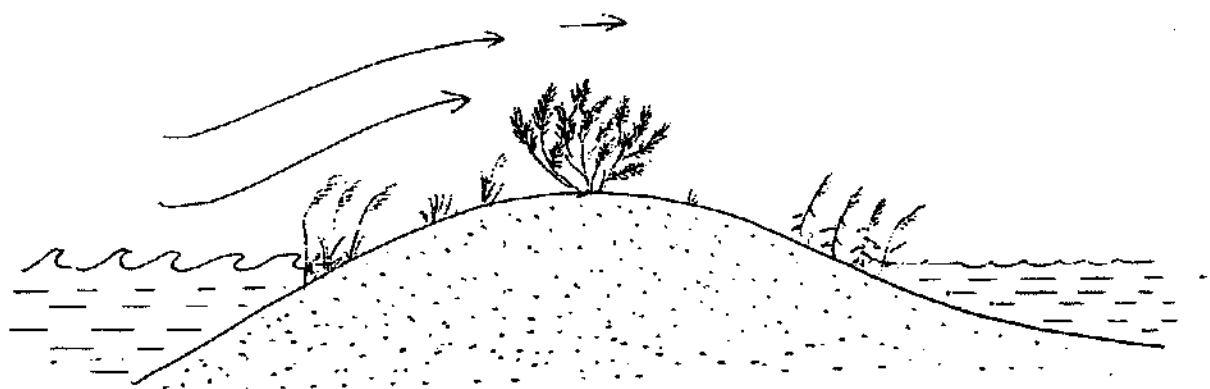
A - Formas de islas para crear planos de agua abrigados.



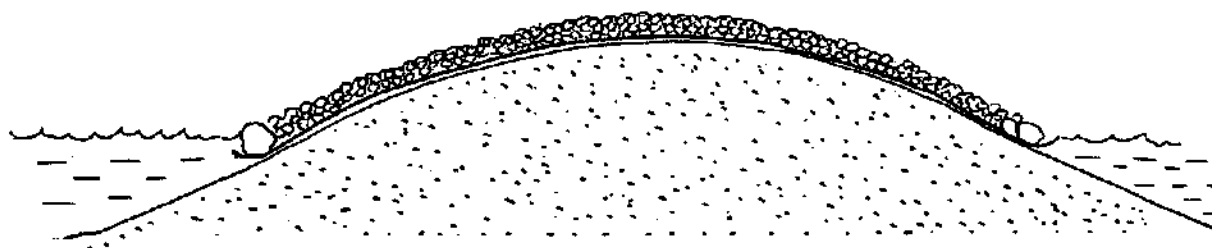
B - Istmos provisionales para permitir el ajuste final tras la inundación.



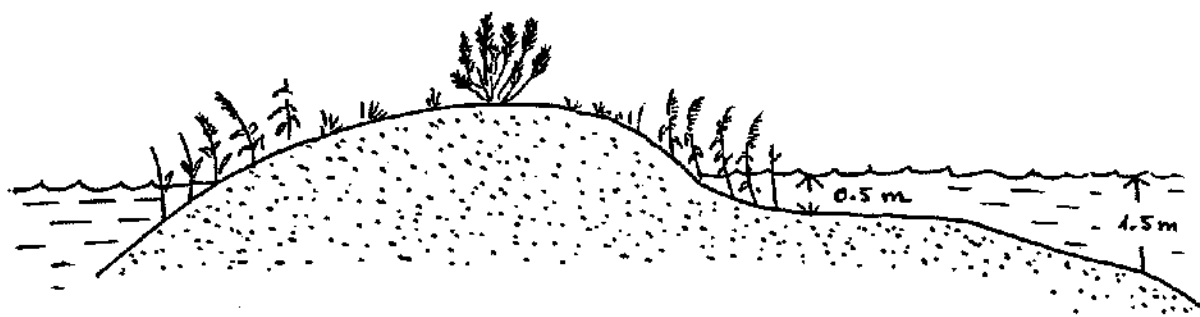
C - Penínsulas.



D - Papel de la vegetación como cortavientos.

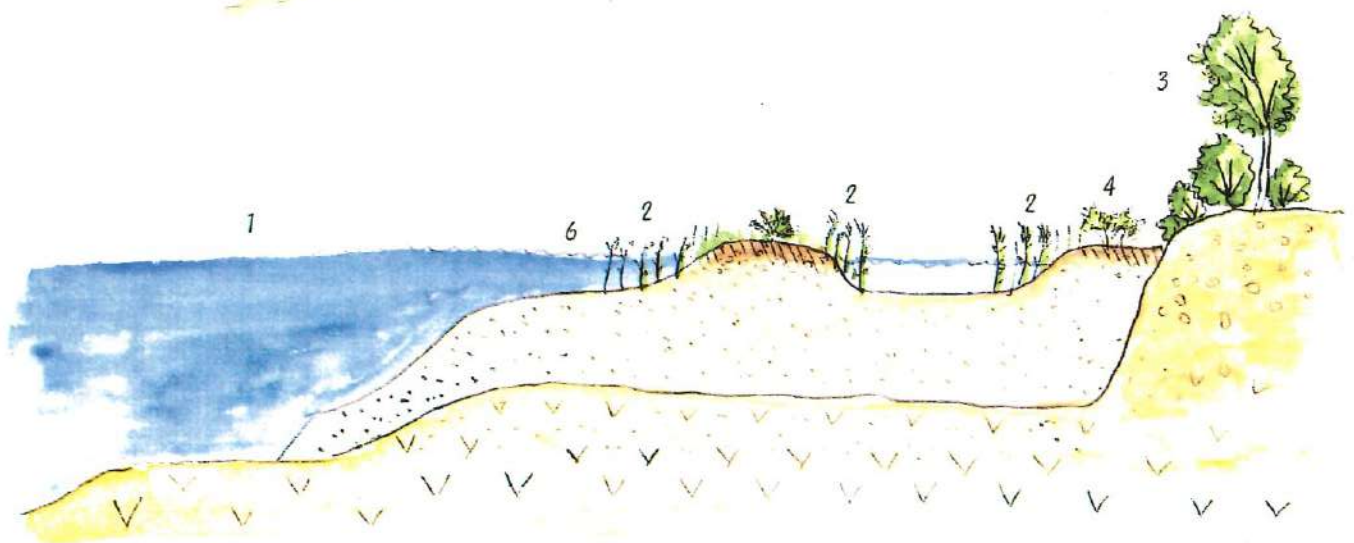
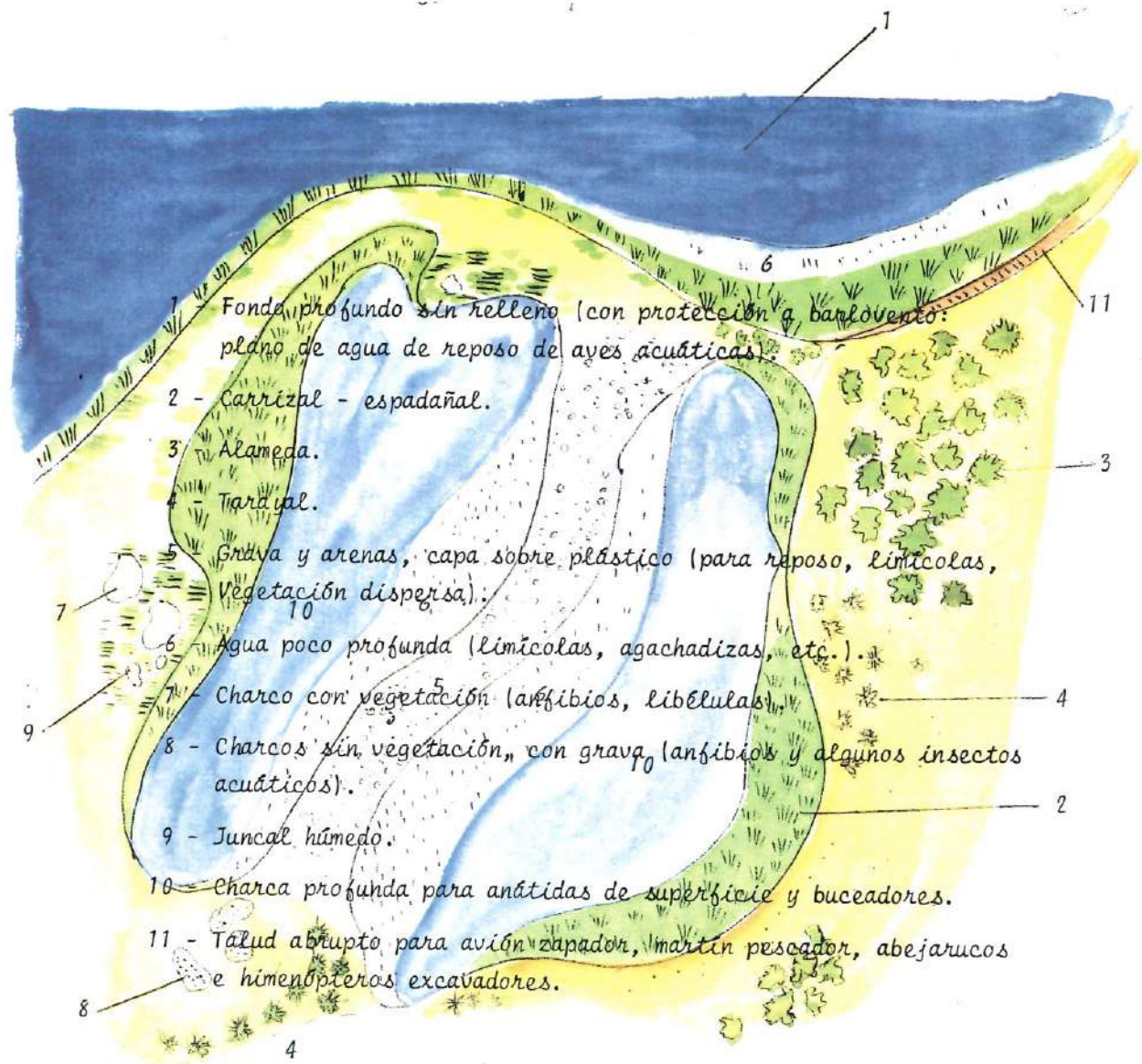


E - Barra (isla o península) con capa de grava sobre plástico.



F - Perfil de las "plataformas" y fondos someros próximos a las tierras emergidas.

Islas y penínsulas.



Ejemplos de diversificación de hábitats.

alejadas de ruidos con una gran tranquilidad para especies más raras. Incluso la formación de zonas de grava y arena descubiertas de vegetación. Zonas tanto de playas como algunos cortados para favorecer especies como el martin pescador, el avión zapador, etc.

Aunque parezca una contradicción, puede ser interesante también la formación de pequeñas lagunas salinas, provocadas artificialmente para el estudio de ciertas poblaciones microbianas específicas, de gran interés educacional.

Todo esto no quiere significar otra cosa que debemos tener muy claro y detallado, tanto el uso, como el tipo de especies animales y vegetales así como la naturaleza de las aguas que vamos a manejar.

Como conclusión podemos decir primero, que no debemos asustarnos por los posibles fenómenos tanto de evaporación y salinización, como eutrofización, si éstos están previstos y controlados con los estudios previos, y segundo, que es muy conveniente, yo diría que necesario, un control posterior de seguimiento, verificación de datos, corrección de desviaciones, y en definitiva, evitar que el abandono a la buena suerte de estas masas de agua, puedan caer en un proceso de degeneración progresiva, con lo que todos los esfuerzos y estudios anteriores no habrían valido para nada.

BIBLIOGRAFIA

AYUNTAMIENTO DE SAN FERNANDO DE HENARES (1991). La comarca del Jarama-Henares.

BOUSO J.L. (1982). Seminario ATEM COP: Preparación de áridos. Lavado.

PEURIFOY, ROBERT L.-LEDBETTER, WILLIAM B. (1985). Construction, planning, equipment and methods. McGraw-Hill.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID. DPTO. ECOLOGIA-PIONEER (1991). E.I.A. de la extracción de áridos y constitución de humedales de interés naturalístico en graveras de la cuenca del Jarama.

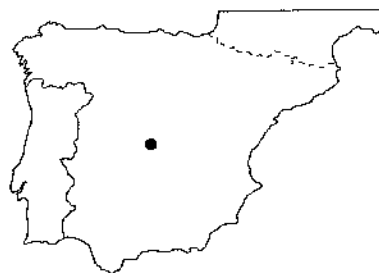
UNIVERSIDAD DE ALCALA DE HENARES. DPTO. GEOLOGIA-PIONEER (1991). Estudio hidrogeológico e hidroquímico en graveras de la cuenca del Jarama.

EL AGUA EN LOS MARMOLES DE MACAEL Y SU PLAN DIRECTOR

Ponente:

D. José M^a Quereda Rodríguez-Navarro

Geólogo E.N. ADARO



EL AGUA EN LOS MARMOLES DE MACAEL Y SU PLAN DIRECTOR

Autores:

JOSE M^a QUEREDA RODRIGUEZ-NAVARRO

Geólogo. E.N. ADARO (O.T.C.)

FERNANDO SIGUENZA AMICHIS

Ing. de Minas, E.N. ADARO (O.T.C.)

AURELIO ALCARAZ CAÑABATE

Ing. Técnico de Minas, INGEMISA (O.T.C.)

INTRODUCCION

Dado que a pesar de su antigüedad y tradición la explotación de rocas ornamentales se aparta un poco de la considerada como «minería tradicional», se va a iniciar esta charla explicando brevemente y esquemáticamente el proceso tanto de extracción, como su posterior primera transformación y elaboración hasta su preparación final para la comercialización y venta, incidiendo en los puntos del proceso en los que es necesario el consumo de agua y la problemática que este uso plantea.

A pesar de que gran parte del proceso es común para la extracción y elaboración de todos los denominados comercialmente como mármoles, se va a centrar la exposición en la zona de Macael, que presenta unas peculiaridades y características propias.

Hay que indicar que el área de Macael es la primera productora nacional de mármol, con prácticamente el 40% de la producción nacional, y una de las zonas más importantes del mundo.

En la actualidad existen en esta zona unas 90 canteras activas, en un área de 4 x 2 km, que han tenido una producción global para 1991 de aproximadamente 1.000.000 de t.

Esta atomización de canteras en un espacio tan reducido es una de las características de la zona, que dada su interrelación en multitud de servicios, ha ocasionado, tradicionalmente una serie de problemas, y al mismo tiempo ha dado a la zona un gran dinamismo, que ha desembocado en la elaboración del Plan Director y en la posterior creación de la O.T.C. (Oficina Técnica Colaboradora Mármoles de Macael) que nace cofinanciada por un acuerdo conjunto entre Junta de Andalucía, Ayuntamiento de Macael y Asociación de Empresarios, con el objetivo de lograr una mayor racionalización y planificación en las explotaciones con la realización de proyectos globales de infraestructura, proyectos conjuntos de explotación y asesoramiento diario a las distintas canteras.

Se va a analizar en primer lugar el agua dentro del ciclo extractivo (agua en la zona de explotaciones) y las soluciones previas que el Plan Director aporta, para posteriormente dar una pincelada sobre el agua en el ciclo transformador-elaborador y las soluciones que se están acometiendo. Como se verá a continuación la problemática es totalmente diferente.

SISTEMA EXTRACTIVO EN EL AREA DE MACAEL

Las fotografías nº 1 y 2 recogen una explotación típica del área de Macael. En ella pueden diferenciarse dos zonas con una metodología de explotación totalmente diferentes; la parte superior o montera estéril y la capa de mármol.

La montera, formada generalmente por esquistos y dolomías marmóreas y con una altura que oscila entre los 20 a los 80 m, se extrae (desmontes o despizarres según terminología local) por el procedimiento tradicional de perforación y voladura, realizando la perforación mediante carros perforadores. En estas operaciones no se consume en la actualidad agua.

La extracción del mármol, se realiza normalmente mediante la combinación del corte con hilo diamantado, con la rozadora de brazo, y perforación y corte, bien mediante cuñas, bien mediante pólvora negra.

Lo que se persigue es obtener el bloque de mármol con las mayores dimensiones posibles y que no tenga diaclasas ni «pelos», que lo rompan en el proceso de elaboración, por lo que se utiliza un sistema u otro según convenga en cada caso concreto.



Figura 1



Figura 2

Generalmente, los cortes verticales, se realizan mediante hilo diamantado y/o perforación de barrenos, los levantes (cortes horizontales o según el buzamiento de las capas) se realizan con la rozadora de brazo, hilo diamantado o con perforación (zapateras). El desdoble de los bloques se realiza en la actualidad, prácticamente en su totalidad mediante perforación.

Tanto el hilo diamantado como la rozadora de brazo, necesitan agua para la refrigeración del elemento de corte (fotografías 3 y 4). Agua que debe ser suministrada de forma continua mientras estén en funcionamiento, lo más próxima posible a la entrada del hilo o brazo en la masa de mármol.

CONSUMO DE AGUA Y SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL

En la actualidad, el consumo de agua en la Sierra de Macael se circunscribe únicamente al gasto que pueden ocasionar los elementos de corte (Hilo y Rozadora) y en muy escasa repercusión, el agua de consumo en los comedores recientemente abiertos.

Es muy difícil obtener datos fiables sobre el consumo de agua en el conjunto de la Sierra de Macael.

En la actualidad, el abastecimiento de agua se realiza prácticamente en su totalidad, mediante camiones cubas. Únicamente en un par de canteras, el suministro de agua se realiza de un pozo situado en las proximidades de la explotación. Se puede calcular que ~ 80% de las explotaciones, se abastece a través de una empresa particular, que extrae el agua en un pozo de su propiedad situado en la localidad de Macael y la sube mediante un camión cuba de 16.000 litros de capacidad, a las distintas canteras y la traspasa a las cubas o depósitos (generalmente 1 ó 2 por cantera con capacidad media de 5.000 litros) y de estas, por sistema simple de gravedad a los distintos elementos de corte.



Figura 3

El recorrido medio se puede calcular en 4-5 km por carreteras asfaltadas y 200 a 800 m por pistas de tierra. El precio actual es para todas las canteras de 11.000 pts/cuba (es decir aproximadamente 1 pts/litro, ya que no la carga completa). Según datos facilitados por la propia empresa realiza una media de 4 a 6 viajes diarios, por lo que el consumo medio diario, para el total de la Sierra puede estimarse que oscila actualmente entre los 70.000 y 100.000 litros/día.

PROBLEMAS QUE OCASIONA EL SERVICIO ACTUAL DE AGUA

Los principales problemas que tiene el actual sistema de abastecimiento de agua son por un lado la «dependencia» a un servicio particular y por otro su provisionalidad.

El primero de ellos no merece un amplio comentario; se esta a expensas de que la empresa que realiza el servicio pueda llevar el agua en el momento oportuno, lo que obliga a preveer con gran antelación el momento en que van a quedar vacios los depósitos, cosa en ocasiones difícil debido al consumo irregular de la cantera.

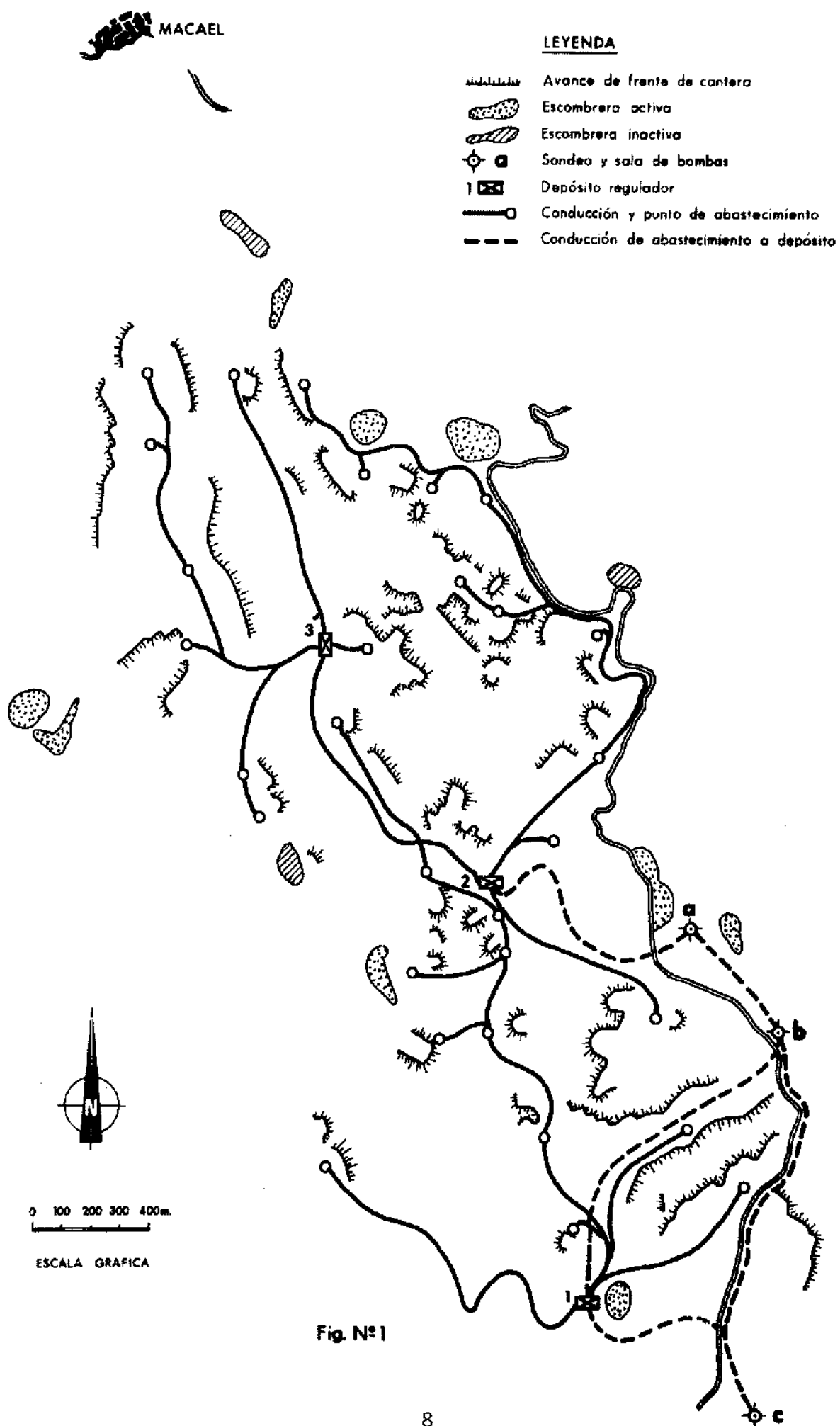
La provisionalidad se basa, por un lado, por la falta en sí de planificación de las canteras, y por otro de que generalmente las canteras colocan la cuba lo más cercana posible al elemento de corte que va a realizar la operación, y en un sitio de fácil recarga, lo que obliga a cambiarla de sitio con una cierta frecuencia. Dada la pequeña dimensión de algunas canteras y la topografía complicada del área, la instalación del depósito en el sitio adecuado es, en ocasiones, problemática pues estorba al desarrollo inmediato de la explotación o interfiere a la cantera vecina, camino, etc.

Aunque el coste del agua no representa relativamente en la actualidad un grave problema, incide negativamente en la utilización de los elementos de corte que precisan agua, ya que en período de extracción de mármol, una cantera con dos hilos funcionando puede consumir una media de 20-30.000 litros/día es decir superior a 0,5 M.P./mes, lo que representa un coste importante para este tipo de explotaciones.

Estos problemas están condicionando una recesión, en la utilización de los elementos de corte que necesitan agua, y dentro de estos, los de mayor consumo, así como la no incorporación de otros equipos complementarios totalmente introducidos en otras zonas.



Figura 4



EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DENTRO DEL PLAN DIRECTOR

El primer factor condicionante, es el convencimiento, de la necesidad de un suministro de agua sin problemas y en la cuantía necesaria para la correcta racionalización y desarrollo de las canteras del área de la Sierra de Macael.

Se abordó la realización de un proyecto, que contemplase no solo cubrir el abastecimiento actual, sino que permitiera el suministro a las explotaciones en su grado apropiado de mecanización, así como a toda la infraestructura general y servicios de la sierra.

Por lo tanto, el volumen de agua necesaria se calcula teniendo en cuenta.

- a) Consumo por unidad de explotación
- b) Consumo general de la sierra
- a) Dentro de cada unidad de explotación se daría servicio a:
 - maquinaria de corte | hilo diamantado
 | rozadora de brazo
 - perforación
 - mantenimiento
 - maquinaria para escuadreo de bloques | monolama tradicional
 | corte con hilo diamantado

Sin entrar en el desglose de los calculos, los consumos medios diarios , suponiendo los equipos y horas de utilización que se indican en el cuadro, serían los siguientes:

		Unidad	Horas utiliz. media	Consumo
Maquinaria corte	hilos diamantados	6	4	24.960 l/día
	rozadoras de brazo	2	4	6.800 l/día
Perforación		2-3	16	2.400 l/día
Mantenimiento	riego plaza cantera, pistas, servicio)	-	-	600 l/día
Maquinaria de escuadrado de bloques		2	16	7.600 l/día

Consumo total por unidad de explotación 42.360 l/día

Si se consideran las 16 unidades de explotación en que se ha dividido la «sierra», el consumo de explotación sería:

$$16 \text{ unidades} \times 482.360 \text{ l/día} = 677.760 \text{ l/día.}$$

b) Dentro del consumo general de la sierra se ha incluido el abastecimiento a servicios comunes (comedores, aseos, vestuarios) y el abastecimiento necesario para la conservación de las pistas generales y plazas de escombreras.

Los consumos medios diarios serían:

Comedores, aseos, vestuarios	6.900 l/día
Riego pistas y escombreras	64.000 l/día
Consumo total general	70.900 l/día

Lo que daría un consumo total para toda la Sierra de: 748.660 l/día, lo que implicaría, con una media de 16 horas de trabajo, un consumo medio de 13 litros/segundo.

Si se considera, una posible recuperación de agua en las distintas explotaciones, del 50% el consumo global de la Sierra puede estimarse en 6,5 litros/seg.

Para dar servicio a este consumo se ha diseñado una red fija, esquematizada en la figura nº1, que consta de:

- sondeo de abastecimiento
- depósitos reguladores
- red general permanente

Dado que el estudio se encuentra a nivel de anteproyecto, se han marcado, de acuerdo con un estudio previo, tres posibles puntos de ubicación del sondeo de abastecimiento y por lo tanto tres posibles recorridos del agua hasta el depósito regulador.

Se han diseñado, en principio, tres depósitos reguladores situados a cota descendente, que abastecerían cada uno a un sector diferente, pero que se encuentran interrelacionados pudiendo reabastecer agua desde el primer depósito al segundo y de éste al tercero.

Esto permite la construcción inicial de un único depósito, e ir aumentando la capacidad de almacenaje según vayan poniéndose en funcionamiento las distintas unidades.

La red de distribución se ha diseñado en forma ramificada, teniendo presente el número de unidades a que tiene que abastecer y la distancia y diferencia de cota, para los cálculos de diámetro de la tubería y caudal. En la figura nº 2 se esquematiza la red de agua y sus características para uno de estos sectores.

La inversión necesaria para la ejecución total del proyecto, puede oscilar entre los 130-160 MP.

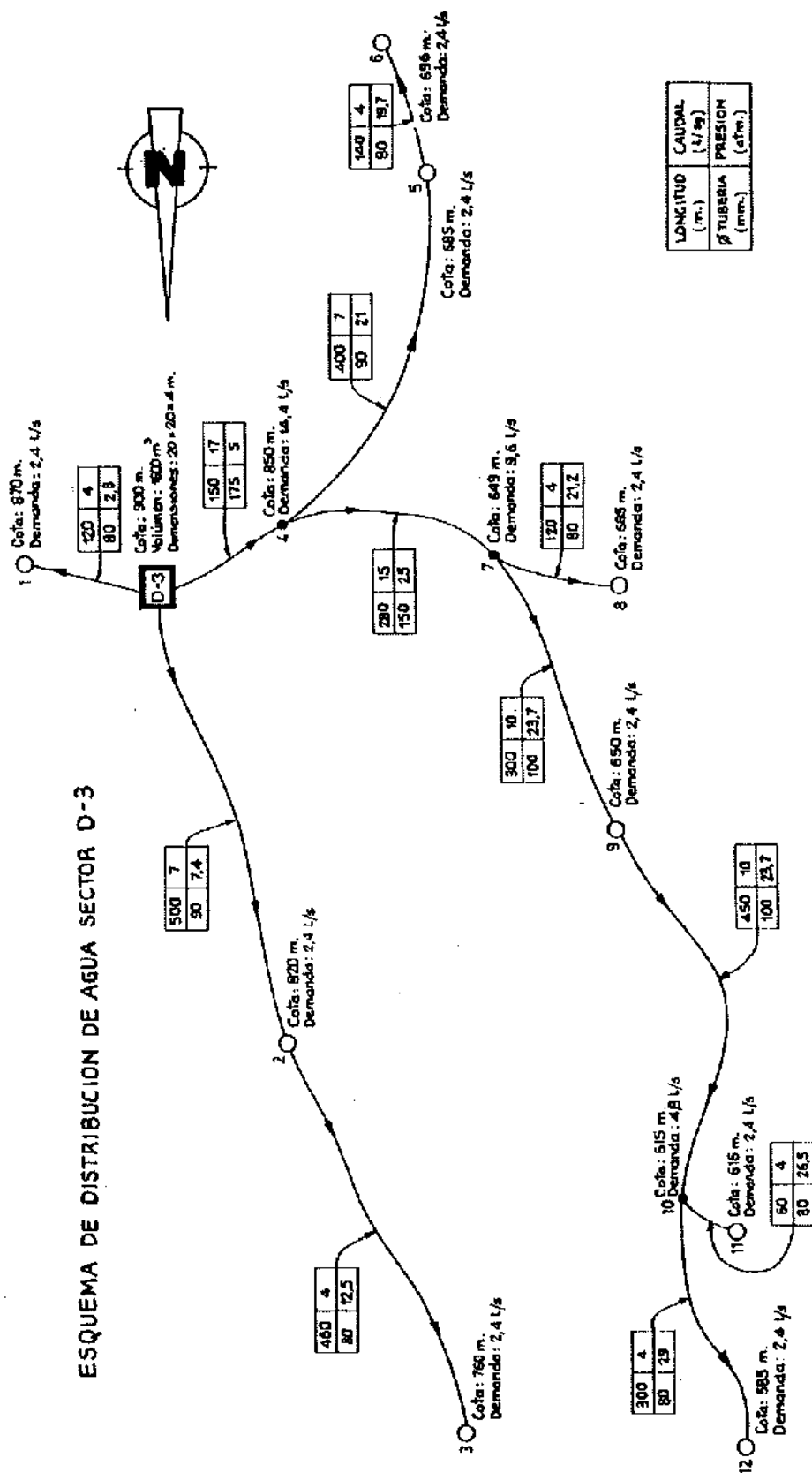


Figura no 2

Las ventajas que supone, la instalación de la red centralizada de agua, son fundamentalmente las siguientes:

- Elimina la «dependencia» del servicio y garantiza un servicio continuado.
- Permite la implantación de la totalidad de las máquinas de corte.
- Permite la instalación de los equipos de recuadro de bloques en las proximidades al área de explotación.
- Evitaría la multiplicación de depósitos individualizados con cambios de sitio frecuentes.
- Permitiría de forma fácil el abastecimiento a los servicios de infraestructura.
- Permitiría la instalación de servicios-duchas-vestuarios inexistentes en la actualidad.

PROCESO TRANSFORMADOR-ELABORADOR

En la zona de Macael-Olula y su comarca se encuentran instaladas aproximadamente un total de 170-180 industrias distribuidas entre grandes fábricas, pequeñas fabricas y talleres, talleres de artesanía y empresas trituradoras.

Su distribución según un estudio realizado por la Junta de Andalucía en 1978 es la siguiente:

	MACAEL	OLULA	FINES	CANTORIA	PURCHENA	TOTAL
GRANDES FABRICAS	-	8	3	1	2	14
PEQUEÑAS FABRICAS Y TALLERES	44	33	7	7	7	98
ARTESANIA	19	18	7	9	1	54
TRITURADOS	-	-	-	1	1	2
TOTAL	63	59	17	18	11	168

El sistema de transformación es muy diferente en los casos de Artesanía y Triturados, siendo semejante en las fábricas y talleres, en las que solo varían los elementos de corte de los bloques-bolos y su dimensionamiento. Este grupo es sin lugar a dudas el que tiene mayor importancia y peso específico. Su proceso transformador-elaborador queda esquematizado en la figura nº 3.

Hay que reseñar, que aunque la presencia de agua, es necesaria en la práctica totalidad de los elementos, el consumo real total es muy bajo, ya que prácticamente la totalidad de las empresas, tienen instalado un sistema de circuito cerrado con depuración de agua.

CIRCUITO DEL AGUA EN EL SISTEMA TRANSFORMADOR-ELABORADOR

El circuito del agua, queda igualmente esquematizado en la figura nº 3. El agua se recoge por una red de «alcantarillas», situadas bajo cada elemento de proceso, que confluyen en una arteria general, que conduce el agua al depósito de decantación. A la entrada del mismo, se añade un elemento floculante, que ayuda a la separación de los lodos. Estos, se quedan almacenados, bien en la parte inferior del depósito, bien en las balsas de decantación de lodos. El agua limpia situada en la parte superior o en otra balsa al pie de la decantadora, pasa de nuevo al circuito del abastecimiento.

PROBLEMATICA DEL AGUA EN EL SECTOR TRANSFORMADOR

A diferencia con el sector extractivo, donde la problemática del agua estaba condicionada por sistema de abastecimiento y volumen necesario, en el sector transformador, la problemática se ciñe exclusivamente a la extracción o eliminación de los «lodos», resultantes tras la depuración del agua, que permite una recuperación muy alta de la misma y por lo tanto un bajo consumo.

Aunque los datos fiables sobre el volumen de lodos que genera una empresa transformadora, son imposibles de obtener, según un informe realizado por el I.F.A., el volumen de los que se produjeron en la Comarca del Mármol en 1987, fue alrededor de las 105.000 t. de finos.

En la actualidad, estos finos son parcialmente vertidos en escombreras controladas, generalmente, a través de la misma empresa que realiza el suministro de agua. Esta empresa, mediante una flota de camiones, extrae los lodos, bien directamente del tanque de decantación, bien de la balsa de lodos y los vierte en lugares previamente marcados por los distintos ayuntamientos, generalmente próximos a los distintos polígonos industriales.

Sin embargo, hasta hace pocos años y por desgracia todavía en una alta proporción, estos lodos eran directamente arrojados a «pie de fábrica», a los cauces públicos más próximos, lo que ha ocasionado un gran problema medioambiental, sobre todo, si se tiene presente que gran parte de las fábricas se encuentran situadas en las márgenes del río Almanzora.

Estos problemas, motivaron la realización por parte del I.F.A., del estudio anteriormente citado, en el que se trata de buscar, aplicaciones industriales a estos lodos, con un contenido

medio en carbonato cálcico del 98%, una granulometría en la que el 98% es inferior a 100 micras y una blancura elevada (media 40% en F. verde). En este informe se aportaron distintas soluciones, aunque en la actualidad ninguna se ha llevado a la práctica.

Asimismo la Agencia de Medio Ambiente, ha intensificado sus inspecciones y multas, y los Ayuntamientos, ejercen un control más severo, lo que ha obligado a algunas empresas, a adoptar medidas adicionales, como puede ser, instalar en la balsa de lodos, una prensa al objeto de secarlos al máximo, reducir su volumen y obtener una más fácil eliminación.



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO
SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

C/. Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID