

# **EL KARST DE LA MINA REOCIN: UN PROBLEMA HIDROLOGICO**

**Introducción**

**Historia**

**Situación geográfica. Aspectos climáticos e hidrografía**

**Geología**

**Zona Centro**

**Zona Oeste**

**Zona Este**

**Karstificación**

**Evolución del problema**

**Trabajos realizados**

## **7.1. Conexión hidráulica**

7.1.1. Origen de las surgencias

7.1.2. Pérdida de caudal del río Saja:

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

7.1.4. Interconexión entre piezometría y surgencias:

## **7.2. Estudios piezométricos**

## **7.3. Los sumideros del río Saja en Barcenaciones: intentos de taponamiento**

## **7.4. Pantalla vertical**

## **7.5. Aguas por fracturas**

## **7.6. Control de karst**

**Sistema de desagüe proyectado**

**Conclusiones**

**Bibliografía**

# **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).

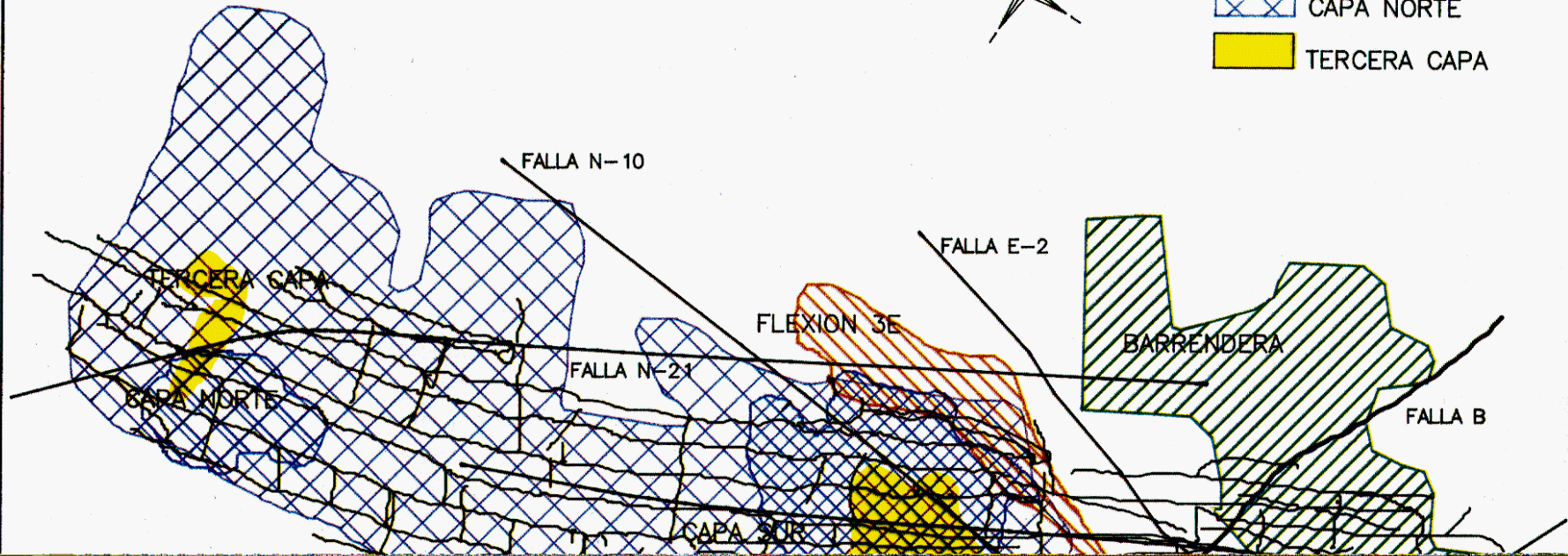
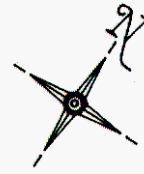
**1- ZONA CENTRO:** Comprende tres niveles mineralizados denominados Capa Sur, Capa Norte y Tercera Capa, con potencias variables entre 2 y 10 m. En conjunto, están situados dentro de los 40 m. inferiores del paquete dolomítico gargasiense, formando una unidad mineralizada de 500 x 700 m y 40-45 m de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



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

LEYENDA

-  BARRENDERA
-  FLEXION 3E
-  CAPA SUR
-  CAPA NORTE
-  TERCERA CAPA



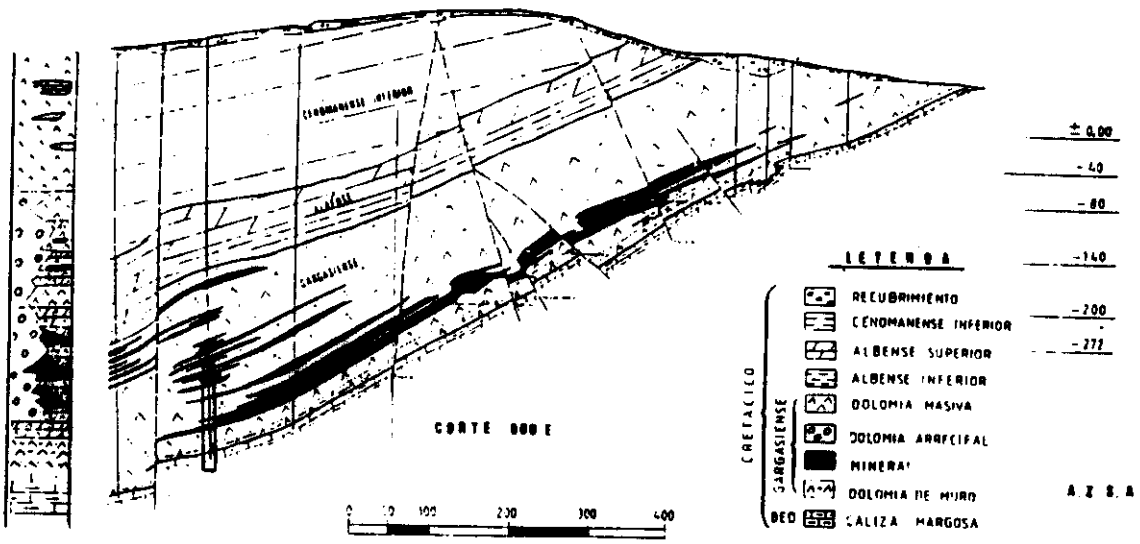


FIG. 2.1

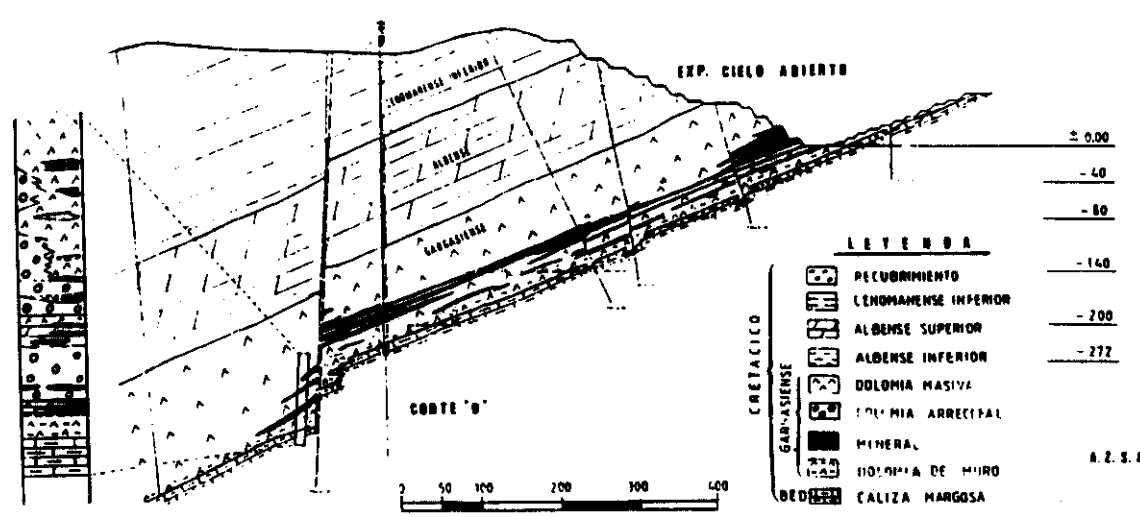


FIG. 2.2

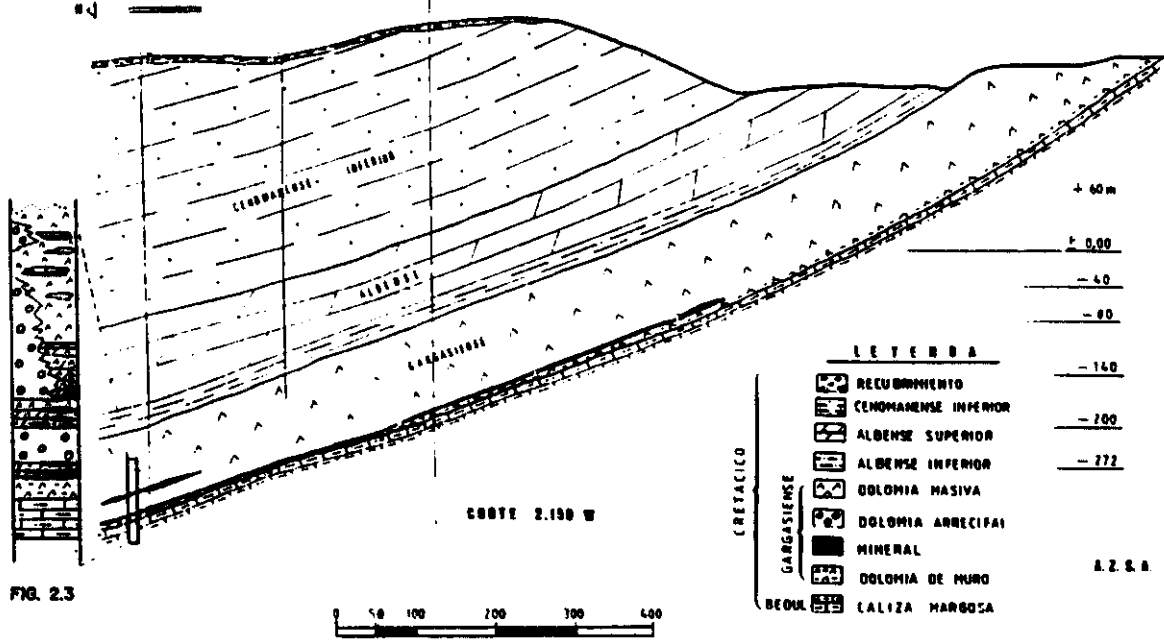


FIG. 2.3

**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 margo-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 ( $\text{CO}_3\text{Zn}$ ), Cerusita (COPb), 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 km<sup>2</sup>), 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 piritita 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 biohémica, 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 <sup>131</sup>I. 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  $^{18}\text{O}$  fueron tomadas del río Saja, de las surgencias de galerías y de piezómetros. El método se basa en calcular el contenido en  $^{18}\text{O}$ , medido como  $^{18}\text{O}$  "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  $^{18}\text{O}$  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 golbardienses 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  $^{131}\text{I}$ , 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  $^{131}\text{I}$ , 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  $^{131}\text{I}$ . 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  $^{131}\text{I}$ ; 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  $^{131}\text{I}$ .

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  $\text{m}^3$ . 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  $^{131}\text{I}$  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  $^{131}\text{I}$  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)

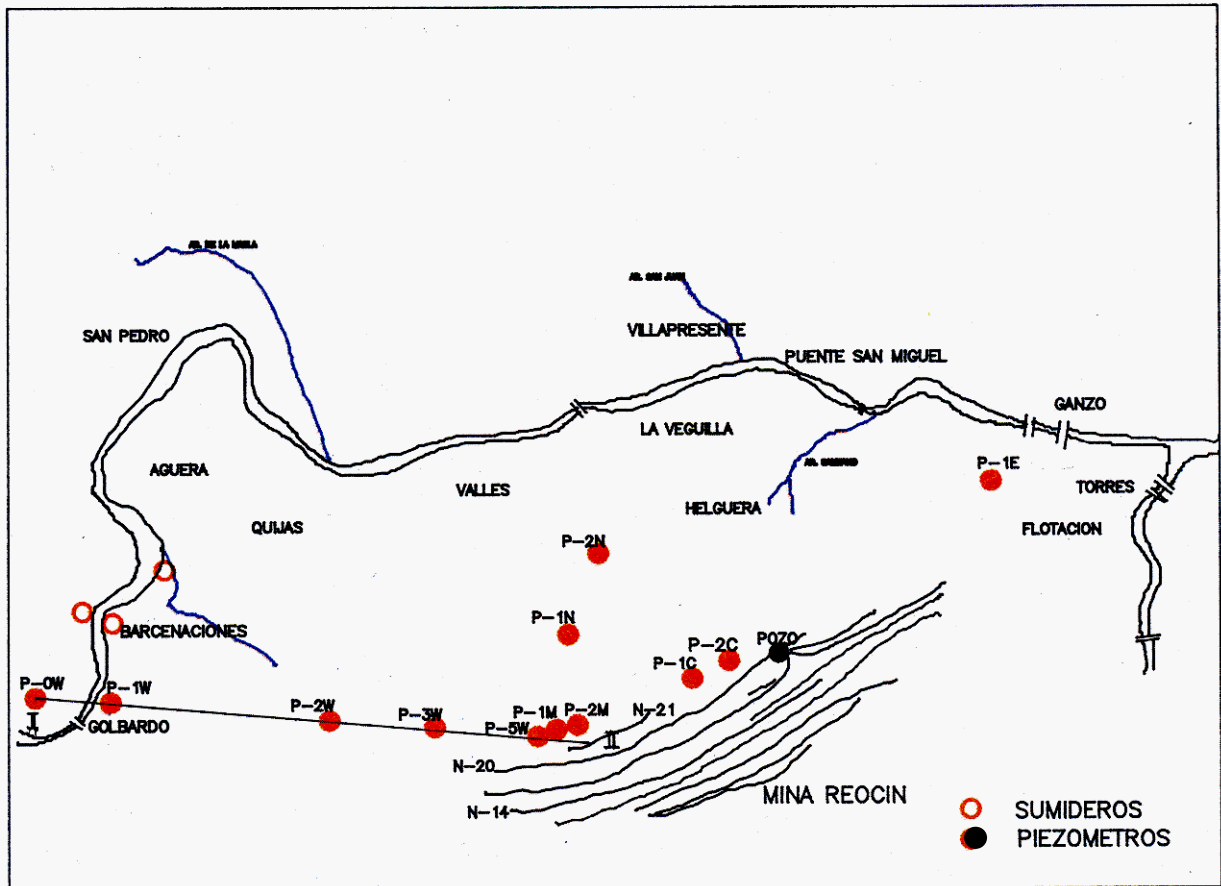


FIG.3.- SITUACION DE LOS PIEZOMETROS Y SUMIDEROS.

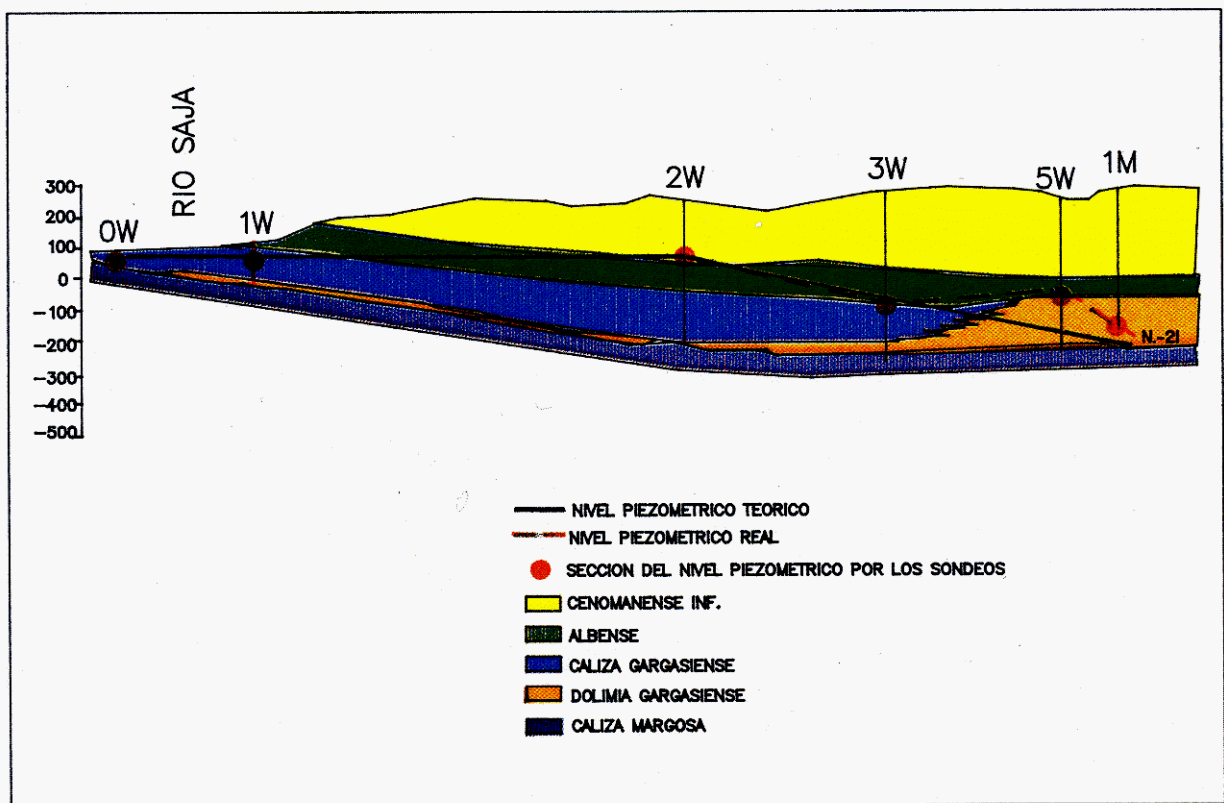


FIG. 3.3 PERFIL I-II

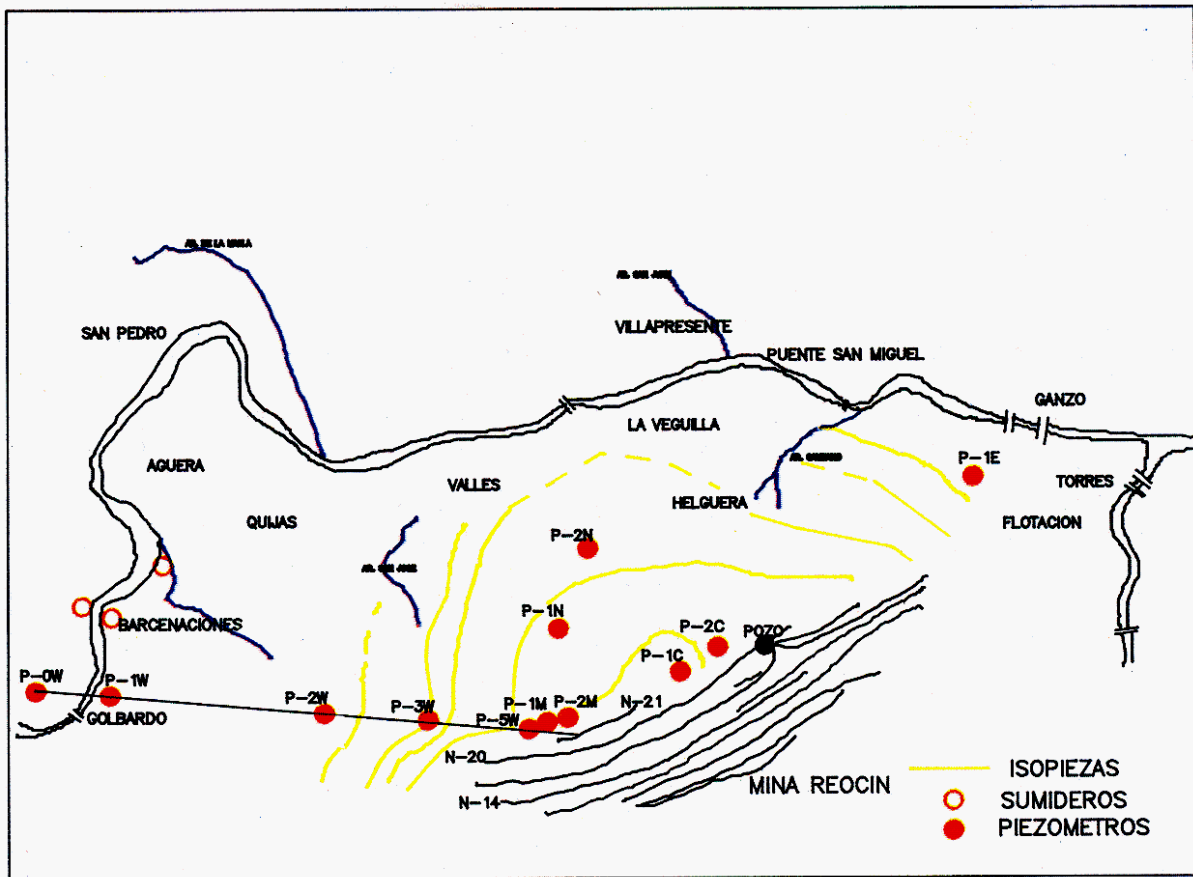


FIG.3.1 SITUACION DE LAS ISOPEZAS EN LA SEMANA 40 DE 1985.

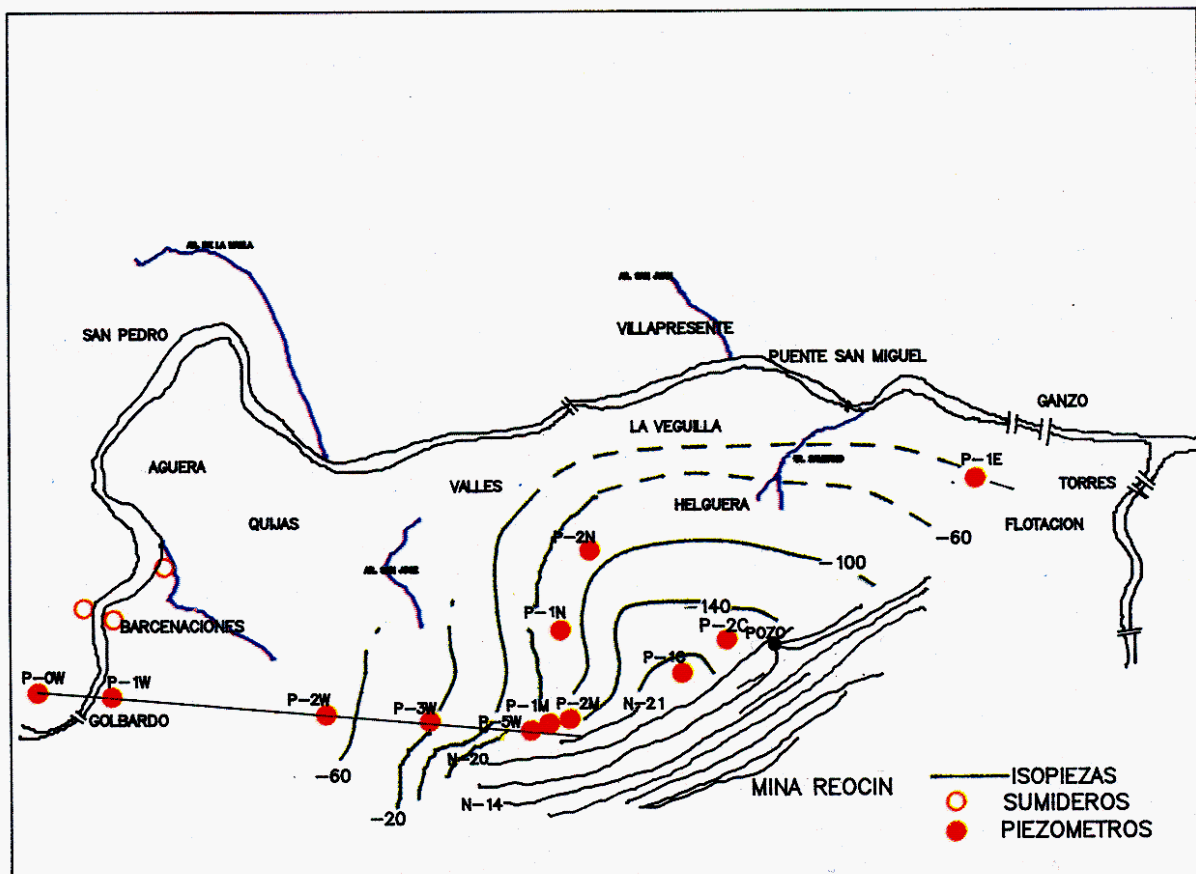


FIG.3.2 ISOPEZAS EN LA SEMANA 31 DE 1986

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 marga-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 pirita, 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).

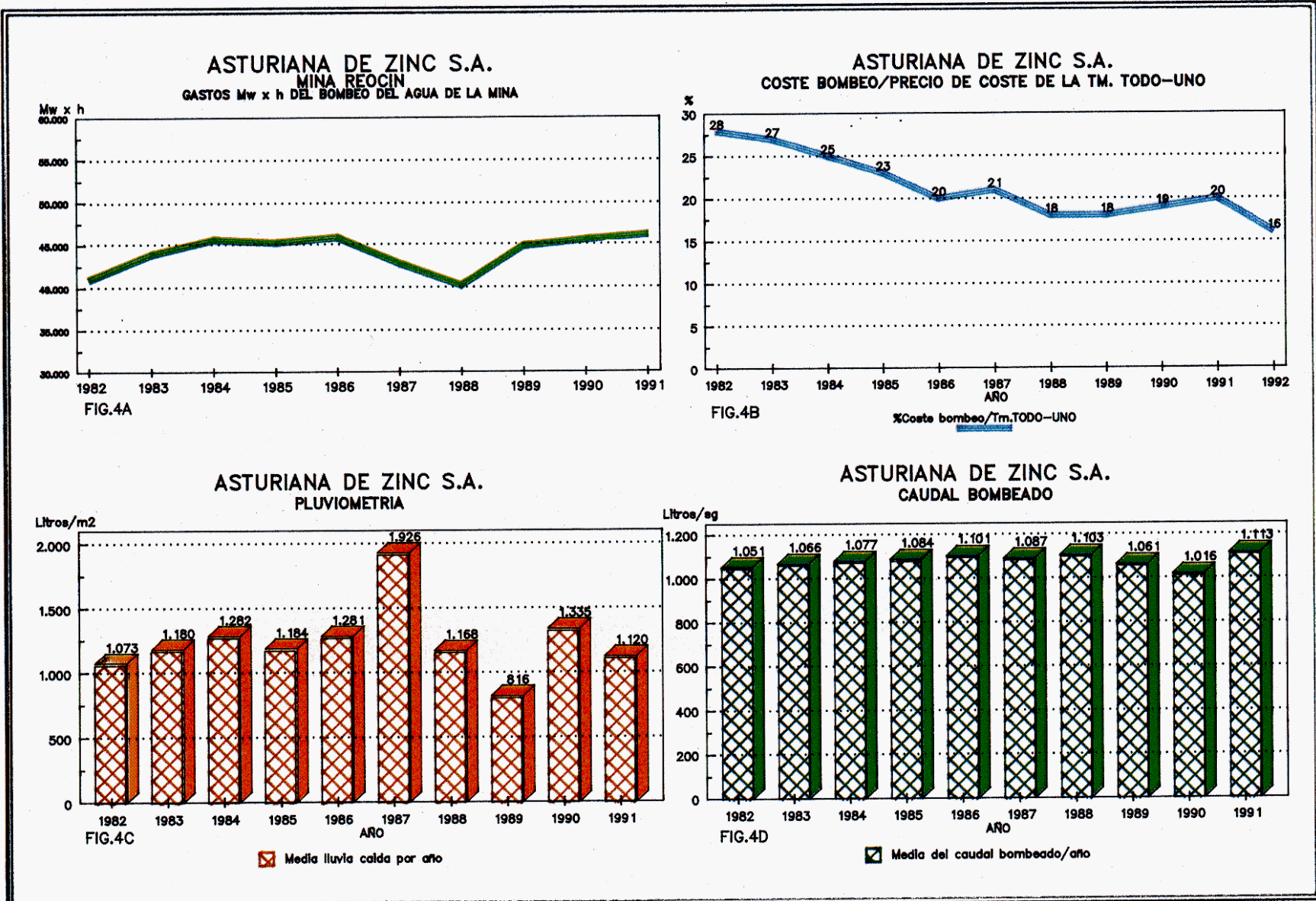


FIG. 4.- GRAFICOS DE LOS PARAMETROS DEL AGUA DE REOCIN.

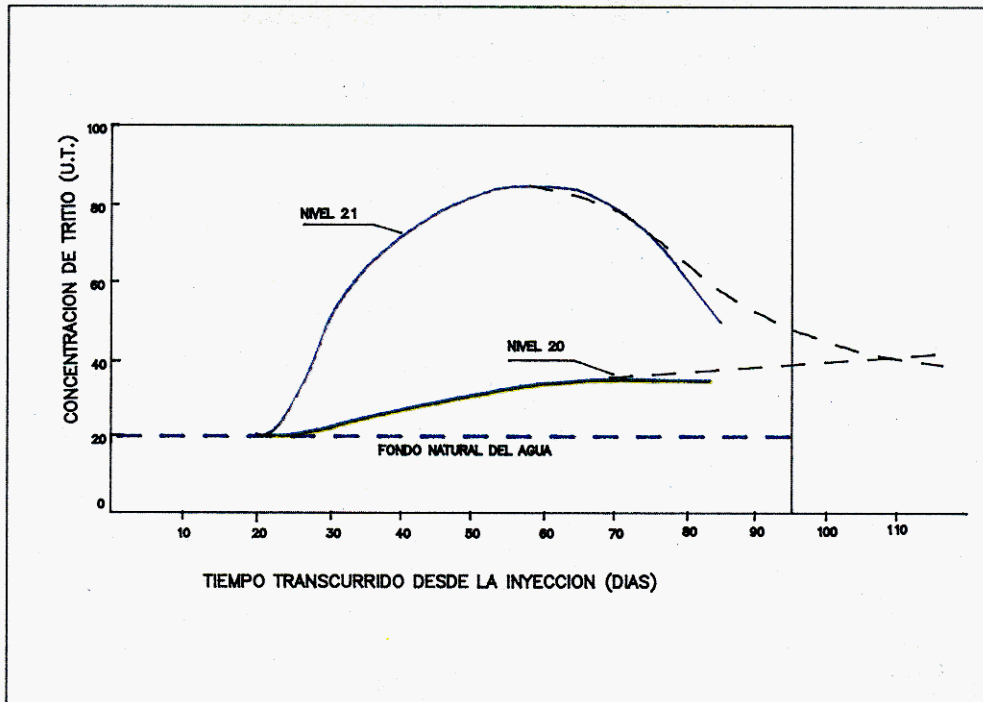


FIG. 5.— SALIDA DE TRITIO POR LAS SURGENCIAS DE LOS NIVELES 20 Y 21

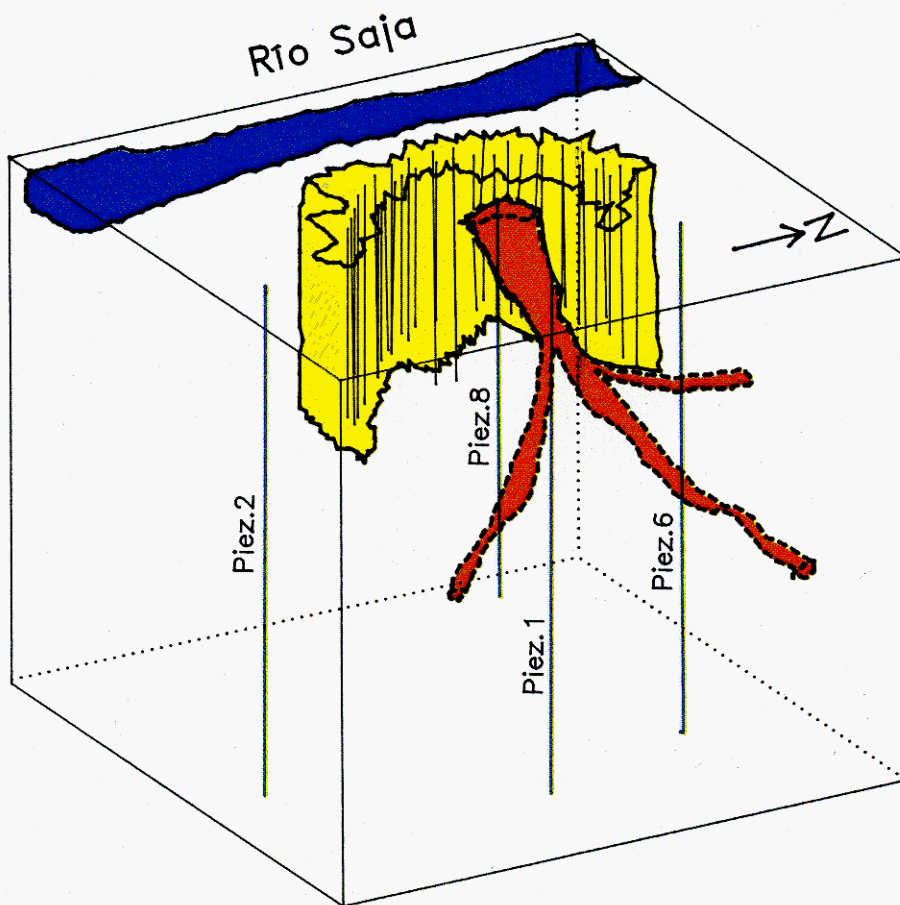


FIG. 6.— INTENTOS DE TAPONAMIENTO DEL SUMIDERO: PANTALLA VERTICAL

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  $\text{Na}^+=400$  mg/l y  $\text{Cl}^-= 668$  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  $\text{SO}_4^{2-} = 2076$  mg/l;  $\text{NO}_3^- = 110$  mg/l y Zn = 65 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/cm<sup>2</sup> 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

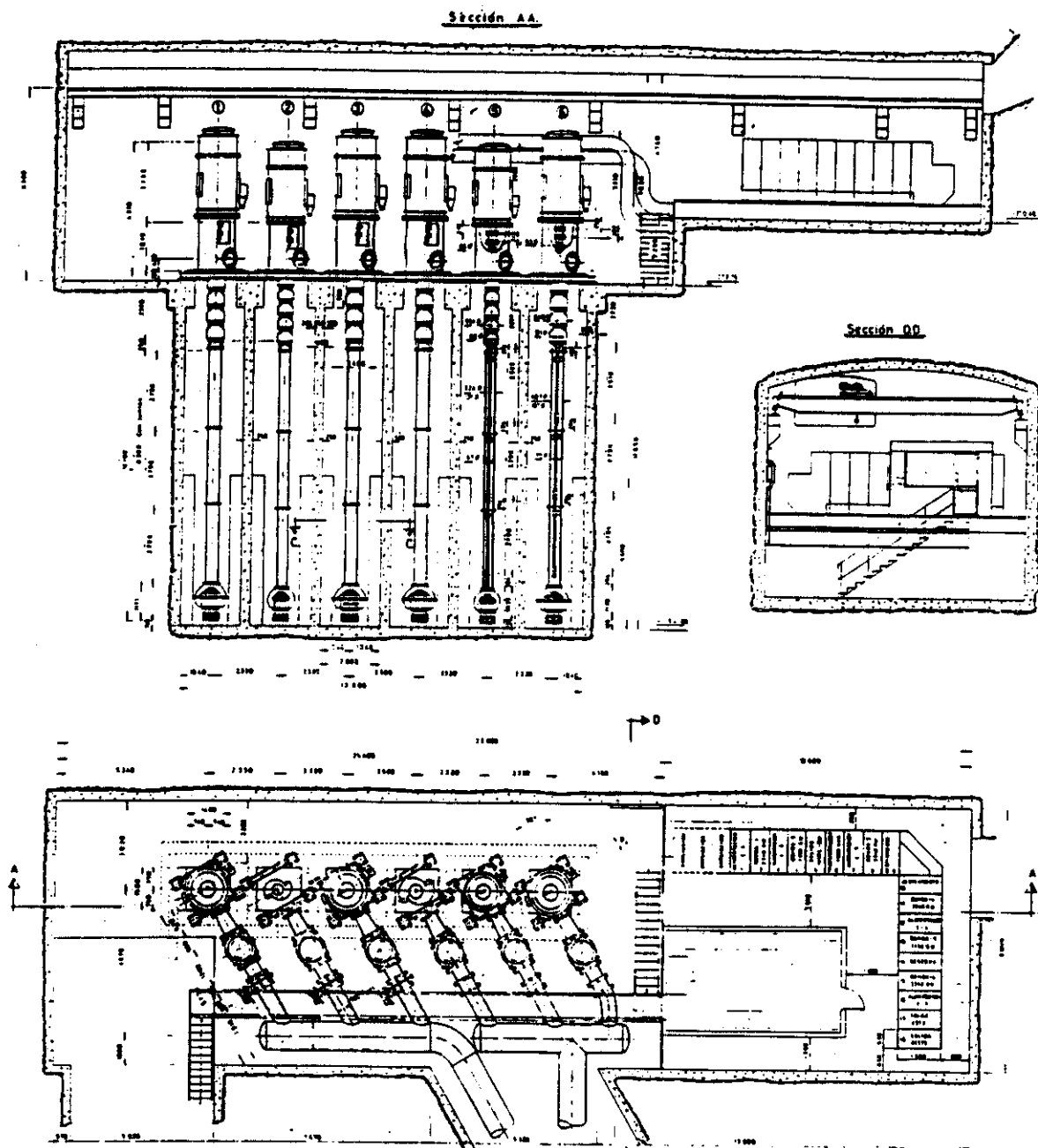


FIG. 7.- ESQUEMA DE LA NUEVA SALA DE BOMBAS EN EL NIVEL -272

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 autómatas 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 prevén 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 autómatas 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 m<sup>3</sup> y 688 m<sup>3</sup> 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 Reocín 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/sg., 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 Asturias 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; (Dpto de Geología de ASTURIANA DE ZINC, S.A.), (en prensa), "YACIMIENTOS ESTRATOLIGADOS DE BLENDAS, 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.