

7.- ASPECTOS GEOECONOMICOS DE LAS
FORMACIONES EVAPORITICAS.

7.- ASPECTOS GEOECONOMICOS DE LAS FORMACIONES

EVAPORITICAS.

En el "Programa de Investigación de las Formaciones Evaporíticas en Navarra", Volumen 2, (ORTI y SALVANY, 1986) se trataron extensamente los aspectos relacionados con el uso industrial de las rocas evaporíticas en Navarra (yeso, sulfato sódico-cálcico y sal). Con posterioridad al mismo, se ha seguido insistiendo en estos aspectos geoeconómicos (ORTI et.al. en preparaci6n), siempre desde un punto de vista petrol6gico y sedimentol6gico.

En esta ocasi6n, y con el fin de no extendernos excesivamente en un tema que de por s3 puede comportar ya un 6mpio desarrollo, haremos s6lo referencia a algunos aspectos anal3ticos sobre el yeso como roca industrial, as3 como a los posibles criterios de prospecci6n y selecci6n de zonas con inter3s para la explotaci6n de yeso, sal (halita) y sulfato s6dico-c6lcico (glauberita), en las Riberas de Navarra y Rioja Baja.

7.1.- EL YESO.

7.1.1.- ANTECEDENTES.

El estudio y valoraci6n de las formaciones yes3feras como recurso natural es un tema que a nivel del territorio espa6ol se viene realizando desde hace ya bastantes a6os:

En 1967, con el proyecto "Plan Nacional de Investigaci6n de Yeso: inventario de recursos", presentado por el Instituto Geol6gico y Minera de Esapa6a (IGME) dentro del Plan Nacional de Investigaci6n Minera, se inicia en Espa6a la investigaci6n de los yesos desde un punto de vista geoecon6mico.

En este proyecto se reparte el estudio en cinco "zonas" diferentes, que agrupan la pr6ctica totalidad de las

formaciones yesíferas peninsulares, desde las del Triásico hasta las del Mioceno superior: Zona I, Centro; Zona II, Cataluña; Zona III, Sureste; Zona IV, Duero-Ebro. De entre los trabajos realizados en el marco de este proyecto, hemos de hacer especial mención a los presentados por:

a) A. SANCHEZ JIMENEZ, quien estudia la primera de estas zonas en su Tesis Doctoral, con título "Estudio Geoeconómico de los Yesos de la Zona Centro de España" (1979), donde se expone una completa documentación con los antecedentes y metodología de trabajo seguido para este tipo de estudios.

b) ADARO de Investigaciones Mineras S.A., quien realiza, en régimen de contrato con el IGME, el "Estudio Sectorial de Yeso: Zona Ebro-Duero" (1975), cuyo campo de trabajo incluye las formaciones yesíferas del territorio navarro-riojano.

Otros trabajos geoeconómicos de interés en relación con el Yeso son los de: COLLANTES y GRIFFO (1982), sobre las características de los yesos de la cubeta de Calatayud-Daroca como roca industrial, el de INGEMISA (1987) sobre investigación de yesos en el País Vasco y Cantabria (proyecto financiado por el IGME), y el de ORTI et.al. (1986b) sobre la composición, génesis e inventario de recursos de las formaciones yesíferas de Cataluña (proyecto financiado por la CIRIT).

7.1.2.- EL YESO COMO PRODUCTO TECNOLÓGICO.

El yeso tiene la propiedad de perder parcial o totalmente su agua de composición al ser calentado a temperaturas superiores a los 50°C. Cuando el yeso está semideshidratado (pérdida de 3/4 partes de su agua) y pulverizado, al ser mezclado con agua da una pasta que endurece al poco tiempo originando un cuerpo sólido y estable de yeso nuevamente hidratado. Este fenómeno, sumado al hecho de ser el yeso un material aislante térmico y acústico, así como por su fácil manejo, hacen del "yeso calcinado" un material de gran interés en diferentes campos de la industria y especialmente en el de la construcción.

De una forma resumida, las utilizaciones del yeso son las siguientes:

1.- En el campo de la construcción, se utiliza el yeso con diferentes finalidades: En las obras de albañilería, para recubrimientos de muros y fachadas, como aglomerante para pegar piezas, como mortero y aglomerados ligeros, así como para hacer guarnecidos y estucos en el acabado de interiores de edificios. En el sector de los prefabricados, para confección de paneles, planchas, bloques y otras piezas, de posterior ensamblaje en el interior de edificios. En algunas ocasiones el yeso sin calcinar (yeso "crudo") se utiliza como retardador en el fraguado de algunos cementos (Portland...).

2.- En el campo de la agricultura el yeso crudo se utiliza como acondicionador o corrector de suelos, como fertilizante y también para mejorar algunos abonos químicos o naturales.

3.- En diferentes sectores industriales, como el de la industria química, para obtención de sulfato amónico, azufre, ácido sulfúrico, etc. (algunos de estos métodos están bastante en desuso), así como en los del vidrio, papel, pinturas y algodón.

4.- También es de destacar la industria del alabastro, que se abastece de grandes bloques de yeso blanco y muy puro (meganódulos de yeso alabastrino) que son tallados y torneados para la fabricación de objetos ornamentales. Esta actividad industrial tiene un notable desarrollo en el Sur de Navarra (Fitero, Cintruénigo...), donde constituye el núcleo más importantes del País en este tipo de productos.

5.- En el campo de la medicina, se utiliza la escayola (yeso calcinado de máxima pureza) en las especialidades de odontología (trabajos dentales) y traumatología (enyesado de fracturas).

6.- En el campo de la alimentación también se utiliza el yeso en la fabricación de cerveza (favorece la fermentación), así como en el pienso del ganado ovino y vacuno en algunas ocasiones.

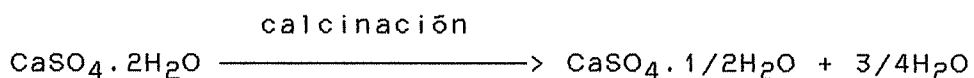
A pesar de esta gran variedad de utilizaciones el consumo de yeso como materia prima en estos diferentes

campos y sectores es muy desigual. El principal consumidor (y con diferencia) es el de la construcción, seguido de la industria y agricultura, con consumos parecidos. SANCHEZ JIMENEZ (1979) hace una estimación de las utilizaciones del yeso con los siguientes porcentajes: 65% construcción, 25% industria y 10% agricultura.

Por su bajo coste, el yeso exige explotaciones a cielo abierto y con extracción sencilla del mineral. Cualquier procedimiento de separación de material estéril o impurezas puede suponer un aumento en los costes que hagan perder la rentabilidad del mismo. Por ello, el yeso se extrae, se tritura y se lleva directamente a los hornos donde será calcinado y molturado, y raramente hay otros pasos intermedios en la producción del mismo.

Las explotaciones de yeso en mina no son normalmente rentables. A pesar de ello, existen en la actualidad algunos casos en los que este mineral se extrae en galería: en el territorio español sólo tenemos conocimiento de la mina de yeso de Aguilar de Campoó (Burgos), en la que se extrae yeso del Keuper, con destino a una fábrica de cemento próxima a esta localidad. En el Sur de Francia también son conocidas las minas de Martigues, cerca de Marsella, en la que se explota una potente serie yesífera del Mioceno, de gran pureza.

Durante la calcinación el yeso debe perder 3/4 partes de su agua de composición para pasar de yeso bihidratado a yeso hemihidratado:



La temperatura de calcinación debe ser de 120-125°C, ya que por encima o por debajo de estos valores el producto resultante presenta propiedades diferentes.

Una vez finalizado el proceso de elaboración del yeso, el producto resultante puede ser clasificado en diferentes "tipos comerciales" según su calidad (Tabla 27). Las características exigidas para cada uno de ellos vienen especificadas, para la normativa española, en el "Pliego General de Condiciones para la recepción de yesos y

escayolas en las obras de construcción" (BOE, nº 28, 1972). En este pliego se contemplan las siguientes características tecnológicas: Índice de pureza, finura del molido, resistencia mecánica a la flexotracción, tiempo de fraguado, ensayo de fases y cantidad de yeso correspondiente al amasado a saturación (con el fin de no extendernos innecesariamente en estos temas remitimos al lector a la bibliografía citada).

* * * *

A nivel peninsular, el desarrollo de formaciones yesíferas es muy notable (especialmente en la mitad oriental y Norte de la Península). Prácticamente todas las zonas en las que afloran yesos permiten reconocer canteras o minas en las que se ha extraído (o se extrae) este mineral. Sin embargo, las normativas vigentes y el grado de calidad que se exige en el yeso para sus diferentes usos, han hecho que en la actualidad sólo determinadas áreas yesíferas tengan interés económico.

Este aspecto se pone de especial relevancia en la Ribera navarro-riojana, donde a pesar del gran desarrollo de formaciones yesíferas aflorantes únicamente hay actualmente cuatro explotaciones de roca de yeso en activo: Mañeru (Yesos Pamplona, S.A.), Viguera (Yesos Cámara S.A.), Ablitas (Valerio, S.A.), Ventas Blancas (Eslosa) (fig. 60), algunas de las cuales son de reciente apertura debido al aumento de la demanda de yeso en el campo de la construcción experimentado estos últimos años con motivo de las exportaciones a la C.E.E. y también al auge de la construcción y la obra pública en nuestro país.

La valoración de un yacimiento yesífero para su posible explotación, requiere el estudio de diversos factores:

- A.- Características de la roca
- B.- Características del yacimiento
- C.- Condicionantes técnicos y políticos

A) El análisis de muestras de roca de yeso deben informarnos sobre: a) la pureza de la roca y b) el tipo y cantidad de impurezas que la acompañan.

La pureza se refiere al porcentaje total (% en peso) de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) de la roca. A partir de este valor la roca puede ser clasificada en diferentes calidades, tal como se muestra en la tabla 26.

El color blanco en el yeso es un factor que también es valorado en la calidad del yeso, en ocasiones incluso por encima propiamente de su pureza. Cuanto mayor es la blancura del yeso mayor interés puede tener para la elaboración de escayolas y otros yesos de alta calidad.

El porcentaje restante lo constituye su impureza, cuya valoración tiene interés pues su naturaleza puede condicionarnos la calidad del yeso elaborado. Así, por ejemplo, la presencia de arcillas por encima de unos determinados límites llega a colorear los yesos o altera sus propiedades físicas, rebajando su calidad comercial, también la presencia excesiva de sílex aumenta la abrasividad del yeso, convirtiéndolo en un producto también de más baja calidad.

En las normativas vigentes (normas UNE) se especifican las características de pureza que son requeridas para la comercialización de los distintos tipos de yeso. Sin embargo, no se dan especificaciones sobre el tipo o características de las impurezas de este producto. En el próximo apartado, exponemos un método analítico con la finalidad de conocer la pureza de una roca de yeso así como las características mineralógicas de su impureza. Este método, en vías de ser mejorado, permite obtener una información global sobre la roca de yeso, y se ha aplicado a diversas muestras de cantera de formaciones evaporíticas terciarias y también del Triásico (Keuper) (Tabla 28).

B) Al margen de la calidad de la roca, las características globales del yacimiento pueden ser determinantes en la selección de zonas explotables. En este sentido deben considerarse los siguientes aspectos:

- Reservas de que se dispone. Para esta valoración no sólo tiene que determinarse la extensión y potencia del tramo yesífero, sino que también deben tenerse en cuenta los posibles cambios litológicos en profundidad.

A este respecto deben preverse los cambios yeso-anhidrita, ya que en su mayor parte las formaciones de sulfato cálcico son de yeso secundario y pasan en subsuelo a anhidrita. El cambio de una a otra fase es siempre gradual, con zonas intermedias de yeso y anhidrita simultaneamente. La falta de previsión de este factor ha motivado en algunos casos el abandono de explotaciones de yeso al "chocar" en su avance contra la anhidrita.

Para el caso de Navarra y La Rioja Baja, donde todas las formaciones están constituidas por yeso secundario, puede preverse este factor mediante uno o varios sondeos que permitan conocer las cotas en las que la anhidrita empieza a ser el mineral dominante y así poder conocer realmente el volumen y la distribución de yeso disponible.

- Estructura del yacimiento. Este factor es de gran interés para planificar la explotación, sobretudo en el enfoque correcto de su avance. En los yacimientos de estructura estratiforme esta caracterización puede ser sencilla, pero no ocurre lo mismo en aquellos yacimientos muy deformados (diapirismo, tectónica) o que afloran en malas condiciones (cubierto, erosionado...).

- Tipo de yeso presente (litofacies yesíferas). Puede tener gran interés el estudio de las facies yesíferas que constituyen el yacimiento y su relación vertical (serie estratigráfica) y lateral (cortes). Este estudio nos permitirá conocer las características y extensión de los principales niveles yesíferos canterables.

- Material estéril asociado. La presencia de abundante material estéril (arcillas, calizas, etc.), bien como bloques o niveles intercalados entre el yeso, o como cobertera del yacimiento, pueden anular una formación con yeso de buena calidad como zona de explotación. Este hecho se debe al bajo precio del yeso, que no permite que la relación entre el material removido y el material aprovechado sea demasiado alta. También, la presencia de algunos componentes litológicos (sílex, caliza, sal, etc.) enclavados o intercalados entre el yeso pueden desvalorizar el yacimiento.

C) Un tipo final de factores que pueden condicionar la viabilidad de una explotación son los de tipo técnico y

jurídico (o legal). En este caso las consideraciones se escapan propiamente del geólogo, siendo más decisivo el papel de los ingenieros y abogados, según cada caso.

De lo expuesto, podemos concluir que un determinado yacimiento yesífero presentará interés como zona explotable si reúne las siguientes condiciones:

- Que la roca de yeso presente un grado de pureza suficiente.
- Que presente un volumen en reservas importante.
- Que no se presenten litologías que supongan un inconveniente para la explotación.
- Que la zona de interés presente buenas condiciones de acceso y explotación.
- Que no hayan impedimentos legales para la explotación.

La valoración de los tres primeros puntos supone el estudio de factores netamente geológicos, a partir de trabajos de campo y analíticos. Los dos últimos puntos corren a cargo de técnicos en explotaciones (ingenieros) y en cuestiones legales (abogados).

7.1.3.- VALORACION ANALITICA DE LA ROCA DE YESO.

Se han analizado 25 muestras de yeso correspondientes a varias canteras del Keuper, Yesos de Puente La Reina, Yesos de Lerín y Yesos de Monteagudo (Tabla 28). El objetivo del análisis de estas muestras ha sido el de conocer cuantitativamente el grado de pureza en yeso de las mismas y también el tipo y cantidad de sus impurezas. Para esta valoración se ha partido de dos tipos de análisis: mineralógico (difracción de Rayos-X) y geoquímico (elementos mayoritarios).

El método analítico que se ha seguido para el análisis de cada muestra viene esquematizado en la figura 59, y ha consistido en la valoración de óxidos de los elementos mayoritarios de la roca: SO_3 , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , Fe_2O_3 , Cl^- , CO_2 y H_2O .

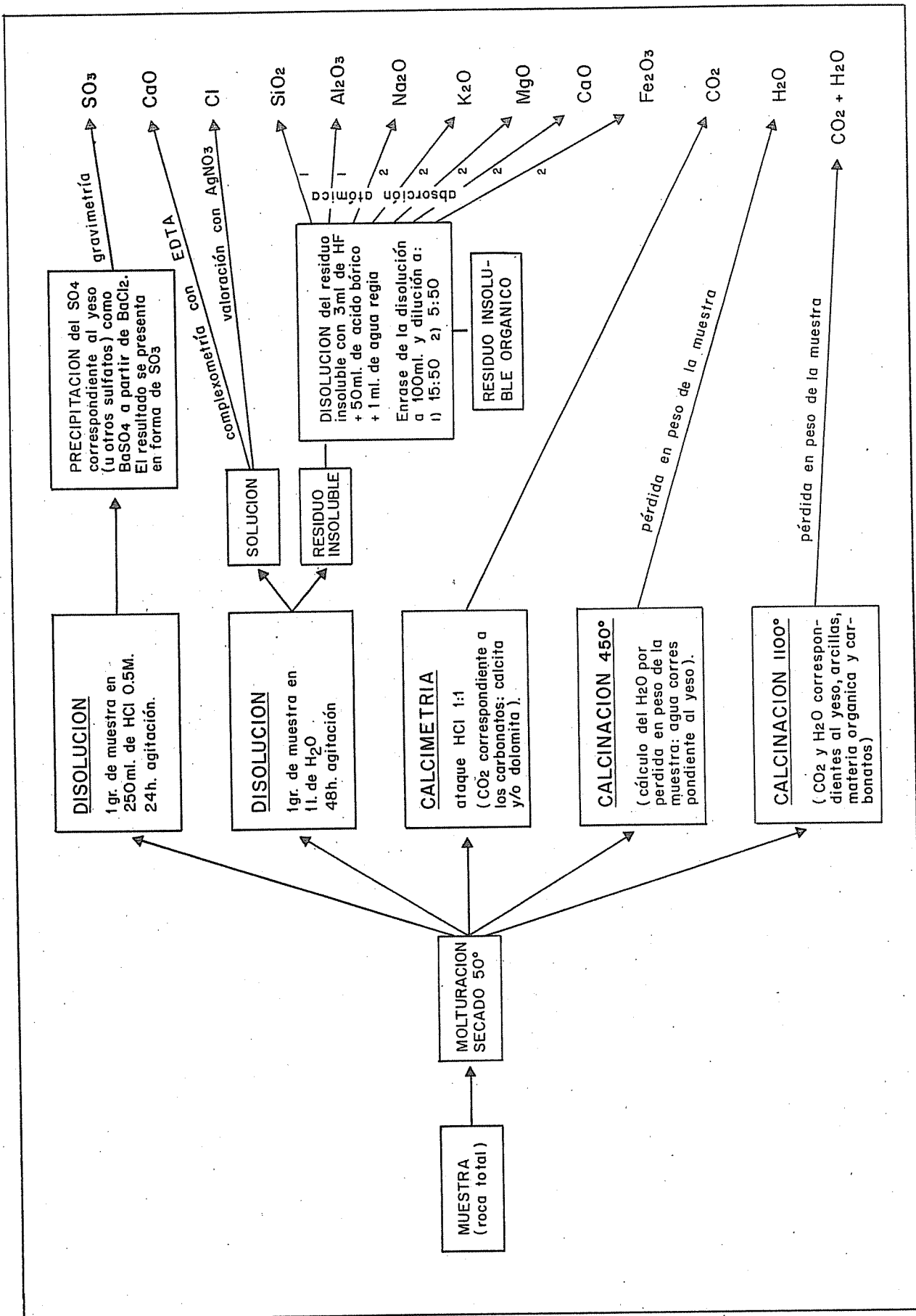


Figura 59.- Procedimiento analítico utilizado en el estudio de las muestras de yeso cara a su valoración tecnológica.

Las características litológicas de las muestras analizadas y su procedencia se señalan en la tabla 28. Los resultados mineralógicos por difracción de Rayos-X, en la tabla 29, y los resultados de los análisis geoquímicos en las tablas 30 y 31. La tabla 32 y la figura 61 muestran la composición mineralógica obtenida para cada una de las muestras a partir del método interpretativo que expondremos seguidamente.

METODO INTERPRETATIVO.

El método interpretativo utilizado puede resumirse en los siguientes puntos:

A) Se considera la posibilidad de que las muestras analizadas puedan presentar las siguientes mineralogías:

- Sulfatos (yeso, anhidrita).
- Carbonatos (calcita, dolomita).
- Silicatos (cuarzo, minerales de las arcillas).
- Sal (halita).
- Materia orgánica (indeterminada).

B) La presencia de otros minerales (en particular otros sulfatos), si no se ha puesto de manifiesto en los difractogramas o por anomalías en los análisis químicos, se da por nula.

C) Sulfatos: La pureza de la roca, que supone su contenido total en % en peso de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, se calcula a partir de los valores en anhídrido sulfúrico (SO_3) y agua de composición del yeso, una vez eliminada totalmente la humedad de la muestra (se supone que todo el azufre de la muestra corresponde al yeso si no se ha detectado anhidrita u otros sulfatos en la difracción).

La humedad de la roca se elimina calentando la muestra a 50°C , temperatura suficiente para eliminar la humedad sin producir o iniciar la deshidratación del yeso.

El agua de composición se calcula a partir de la pérdida en peso de la muestra cuando ésta es deshidratada totalmente a 450°C . El resultado se expresa en % en peso.

El anhídrido sulfúrico se calcula a partir de una disolución clorhídrica de la muestra de yeso en la que se hace precipitar el sulfato con cloruro de bario (BaCl_2) en forma de BaSO_4 . Pesado este precipitado después de lavarlo y calcinarlo, se obtiene la cantidad teórica de SO_3 expresada en % en peso.

Si la cantidad de SO_3 y H_2O calculados son equivalentes para la fórmula del yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (se puede tolerar un 0.3% de diferencia por error de método), entonces sin duda todo el sulfato de la muestra corresponde al yeso. Si hay exceso de SO_3 respecto al agua, puede pensarse que hay una pequeña cantidad de anhidrita (u otros sulfatos como celestina, glauberita, etc.) que no ha sido detectada por difracción de Rayos-X. Lo que tiene difícil explicación es un exceso de agua con respecto al SO_3 , que supondría que al agua de composición del yeso se le ha sumado otra agua de dudosa procedencia (muestra mal secada, cálculo erróneo del agua...).

Como medida de precaución, también se ha calculado la cantidad de CaO correspondiente al sulfato disuelto en la solución clorhídrica, con la finalidad de comprobar la correcta proporción de yeso indicada por el SO_3 y el H_2O de composición.

D) Carbonatos: El contenido total teórico en carbonatos se ha calculado a partir del CO_2 de la muestra obtenido por calcimetría.

Si en la difracción de Rayos-X el carbonato observado es calcita (CaCO_3), al CO_2 hay que añadirle la parte equivalente de CaO restándolo del CaO total calculado para el residuo insoluble.

Si la difracción de Rayos-X se observa dolomita ($\text{Mg,Ca}(\text{CO}_3)_2$), se realiza la misma operación con las partes equivalentes de CaO y MgO del residuo insoluble.

Si en la difracción se presentan los dos minerales a la vez, el cálculo resulta más complejo, pues no es fácil obtener a partir de la difracción las proporciones en que estos minerales están presentes entre sí. A esta proporción deberemos ajustarle el Ca y Ca-Mg que corresponda a la calcita y dolomita. No obstante, este caso es poco corriente.

Para aquellas muestras en las que el bajo porcentaje de carbonato no permita su identificación en los difractogramas de Rayos-X, al CO_2 obtenido en la calcimetría se le atribuirá la mineralogía del carbonato que más corrientemente acompaña a los yesos de la formación de la que proviene: dolomita para los Yesos de Pte. La Reina, Falces y Lerín, y calcita para los yesos de Monteagudo y Ribaflecha.

D) Cloruros: La única sal que creemos susceptible de encontrar asociada a las formaciones estudiadas es la halita (NaCl), cuyo porcentaje calcularemos a partir del contenido el Cl de la muestra.

E) Silicatos: Es frecuente detectar cuarzo en los difractogramas de Rayos-X de las muestras de yeso (normalmente de origen detrítico asociado a la matriz de la roca). Sin embargo, resulta difícil calcular su porcentaje en la muestra independientemente de las arcillas que le acompañan. Por ello, sólo se podrá dar un valor de conjunto de la fracción silicatada, a partir de los resultados de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$, del residuo insoluble inorgánico, restándole las partes de CaO y MgO que se han considerado correspondientes a los carbonatos.

F) Materia orgánica: Se ha podido comprobar su presencia en algunas muestras después de disolver totalmente con ácido fluorhídrico (HF) el residuo inorgánico insoluble. En este caso, la materia orgánica permanece en la disolución como un producto negruzco residual, insensible al ácido.

El porcentaje de esta materia orgánica puede calcularse (de forma aproximada) a partir de la pérdida en peso de la muestra al ser ésta calentada a 1100°C . A esta temperatura se pierden los siguientes componentes:

- CO_2 de los carbonatos y de la mat.orgánica.
- H_2O del yeso, de la mat.orgánica y de las arcillas.

Si al valor obtenido en la calcinación se le descuenta el CO_2 obtenido en la calcimetría y el H_2O obtenido como agua de composición del yeso, nos quedará una cantidad de CO_2 y H_2O equivalente al de la materia orgánica + el agua de composición de las arcillas.

Dado que las arcillas están siempre en muy baja proporción y que el agua de composición de las mismas representa aún más una proporción muy baja (prácticamente despreciable), podemos considerar que el valor obtenido de $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ corresponde al de la materia orgánica al margen del H_2O que puedan haber aportado las arcillas.

G) La suma de todos los componentes calculados debe dar = 100 (en condiciones ideales). Si la suma difiere en un cierto grado por debajo de este valor (puede tolerarse un 2-3% de diferencia por acumulación de errores en el método) puede pensarse en la presencia en la muestra de otros elementos no previstos en el método analítico (B, Sr, etc.).

RESULTADOS OBTENIDOS

La figura 61 muestra de forma gráfica los porcentajes obtenidos de yeso, carbonatos, silicatos y materia orgánica, en cada una de las muestras analizadas. De estos resultados pueden concluirse los siguientes aspectos:

* Por lo que respecta a la pureza de la roca, las muestras analizadas presentan contenidos altos o muy altos en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso): de las 25 muestras 12 de ellas superan el 90% en yeso, 5 oscilan entre el 80 y 90%, otras 5 están entre el 70 y 80% y sólo 3 dan valores inferiores al 70%. Según estos resultados, la tabla 33 muestra las calidades de estas muestras de yeso según las normas UNE.

De este hecho se desprende que la calidad de la roca es por término medio muy buena, sobretodo para las muestras correspondientes al Keuper y a las formaciones Puente La Reina y Lerín.

Para los Yesos de Monteagudo, a excepción de los grandes nódulos de alabastro que son de gran pureza, las muestras presentan contenidos más bajos en yeso en beneficio de los carbonatos y arcillas que constituyen su impureza principal.

* El mineral que domina claramente como impureza son los carbonatos (calcita y dolomita). Normalmente su presencia por encima de unos ciertos valores, es apreciable a simple

vista como matriz o inclusiones entre el yeso. El tipo más común de carbonato es la dolomita, aunque para los Yesos de Monteagudo lo es la calcita (especialmente en las facies de yeso primario).

* El contenido en silicatos es en general muy bajo (inferior al 5% en 20 de las muestras), faltando totalmente en 5 de ellas. El cuarzo es el mineral dominante tal como se puede ver en los contenidos en SiO_2 del análisis químico (tabla 31) con respecto del de los demás elementos del residuo insoluble inorgánico, y también por los difractogramas de Rayos-X.

Como caso particular, los Yesos de Monteagudo son los que han dado valores más bajos en SiO_2 , llegando a estar en algunos casos ausente en las muestras. Para este caso, parece desprenderse que la sílice está únicamente concentrada en los abundantes nódulos de sílex que contiene la formación.

* Las arcillas a pesar de su bajo porcentaje (normalmente inferior al 1%) son, no obstante, las responsables de la coloración de los yesos (tonos rojizos, verdosos, etc.).

* A pesar de que no viene expresado en las tablas, también se ha analizado el contenido en cloruros (Cl^-) de las muestras. Sin embargo, en ningún caso se han detectado indicios de este elemento, por lo que se ha dado por nulo el contenido en sal (halita) en estas muestras.

* El contenido en residuo orgánico de las muestras es también bajo para la mayoría de los casos (inferior al 2% en 20 de las muestras). Su presencia no supone ningún tipo de inconveniente para la elaboración del yeso calcinado, pues durante el tratamiento del mismo, la materia orgánica se descompone fácilmente y es eliminada juntamente con los gases de deshidratación del mineral, sin dejar residuo alguno.

Figura 60.- Mapa del sector navarro-riojano de la cuenca del Ebro con indicación de las explotaciones de yeso, sal gema y glauberita (en activo o abandonadas) que se han realizado.

Mapa de la Ribera de Navarra y La Rioja con localización de las principales explotaciones de yeso, halita y glauberita en las evaporitas del Keuper y del Terciario continental.

Canteras de Yeso

KEUPER

- 1 Estella
- 2 Ayegui
- 3 Azqueta
- 4 Iguzquiza
- 5 Baños de Fitero
- 6 Ribaflecha
- 7 Leza
- 8 Viguera

PUENTE LA REINA

- 9 Azcona
- 10 Mañeru
- 11 Mués
- 12 Sorlada

FALCES - LERIN

- 13 Lerín
- 14 Sesma
- 15 Lodosa
- 16 Tafalla

AUTOL-MONTEAGUDO-RIBAFLECHA.

- 17-18 Monteagudo
- 19-20 Ablitas
- 21 Autol
- 22 Quel
- 23 Ventas Blancas

Salinas, minas de Halita

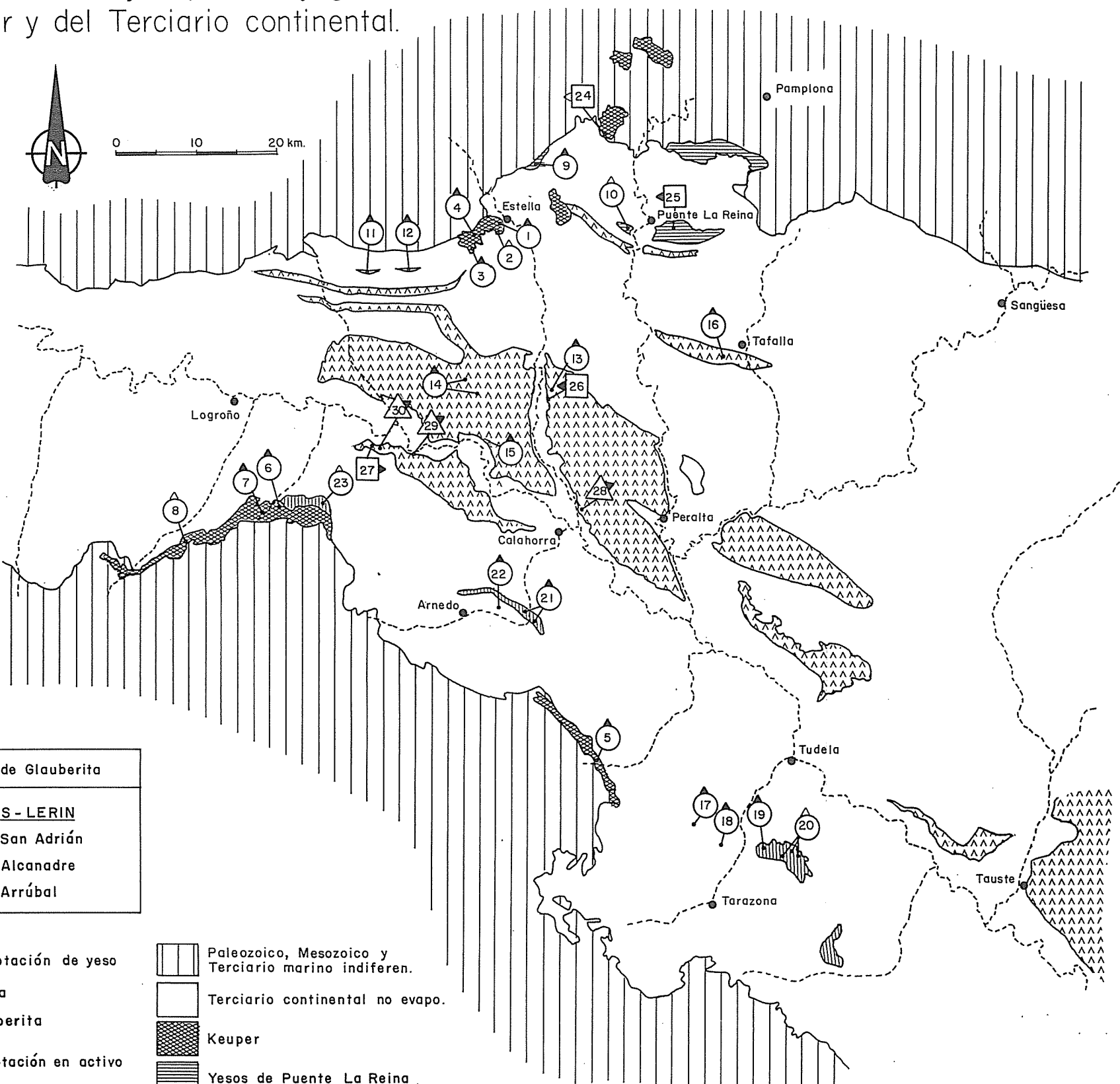
KEUPER

- 24 Salinas de Oro
- PUENTE LA REINA**
- 25 Salinas de Eunate
- FALCES - LERIN**
- 26 Lerín
- 27 Arrúbal

Minas de Glauberita	
FALCES - LERIN	
28	San Adrián
29	Alcanadre
30	Arrúbal

- explotación de yeso
- halita
- △ glauberita
- explotación en activo
- cantera abandonada
- mina
- salina

- ▨ Paleozoico, Mesozoico y Terciario marino indiferen.
- Terciario continental no evapo.
- ▨ Keuper
- ▨ Yesos de Puente La Reina
- ▨ Yesos de Falces y Lerín (y Zaragoza)
- ▨ Yesos de Borja, Monteagudo, Autol y Ribaflecha.



7.1.4.- PROSPECCION DE ZONAS YESIFERAS

CON INTERES ECONOMICO.

Como ya se ha comentado, son pocos los yacimientos yesíferos que reúnen las condiciones óptimas para su explotación. De las características que presentan las formaciones yesíferas en la Ribera navarro-riojana, y del tipo de roca que interesa para la producción de yesos industriales, pueden ser de interés los siguientes criterios de selección de formaciones yesíferas:

A) Por sus características litológicas, pueden distinguirse los siguientes tipos de formaciones yesíferas:

* Yesos triásicos. Afloran al pie de las sierras de Cameros y La Demanda, así como en los diapiros que bordean la Sierra de Cantabria. En el primer caso los yesos constituyen un importante afloramiento, que puede seguirse, con algunas interrupciones, desde Ezcaray (La Rioja) hasta Fitero (Navarra), con una extensión próxima al centenar de kilómetros. Sobre estos yesos se localizan canteras como las de Viguera, Ribaflecha o Fitero (foto 128).

En los diapiros de la Sierra de Cantabria el volumen de yesos aflorantes es mucho menor. Únicamente el diapiro de Estella constituye una extensa zona de materiales yesíferos aflorantes (canteras de Estella y Ayegui -foto 129-). En los otros diapiros los yesos constituyen un material secundario, dominando las arcillas y los grandes bloques de otras litologías (dolomías, ofitas...) arrastradas por el diapiro.

En los diferentes casos, los yesos del Keuper presentan estructura diapírica, formando potentes tramos con carácter masivo, corrientemente muy erosionados y alterados en superficie. El yeso presenta normalmente tonalidades grisáceas o bien rojizas, y las intercalaciones arcillosas pueden estar bien desarrolladas en algunos puntos. También entre los yesos son frecuentes los bloques de otras litologías, con tamaños muy variables.

* Yesos de Puente La Reina. En el núcleo del anticlinal de Añorbe estos yesos se presentan en potentes capas de yeso

masivo, de tonalidad grisácea, con algunas intercalaciones arcillosas (canteras de Mañeru -foto 127-). En los otros puntos donde aflora esta unidad (canteras de Sorlada, Mués, Arizaleta...) los yesos son más arcillosos y ofrecen un escaso volumen en reservas.

* Yesos de Falces y Lerín. Presentan un volumen de reservas muy superior al de las demás formaciones navarro-riojanas. Sin embargo, sus características litológicas no ofrecen (a excepción de los yesos de Autol) la posibilidad de potentes tramos yesíferos de carácter masivos con el grado de pureza que exigen las explotaciones modernas. Las litofacies laminadas o nodulares que hemos descrito para estas formaciones, presentan siempre cantidades variables de matriz arcillosa o carbonatada que perjudica la pureza del yacimiento, además de ofrecer un carácter desmenuzable que resulta un inconveniente importante en el tratamiento de la roca durante la fabricación del yeso industrial. Las antiguas canteras de Lodosa, Lerín o Sesma, señalan el tipo de tramos más potentes y puros de yeso de estas formaciones, que corresponden a los tramos de litofacies laminada de las unidades Los Arcos, Sesma o Alcanadre.

En los Yesos de Falces, al carácter impuro de los yesos se le suma la estructura diapírica que normalmente presentan, lo que hace que aun hayan tenido menos interés como recurso que los de Lerín (unicamente tenemos conocimiento de una pequeña cantera abandonada cerca de Tafalla).

* Yesos de Monteagudo, Autol y Ribaflecha. Estas facies yesíferas de borde de cuenca, formadas por tramos masivos de yeso nodular de gran pureza, constituyen el tipo de roca que más se adapta a las necesidades de la industria de producción de yeso, por su pureza y color blanco de los yesos (canteras de Autol, Ablitas, Ventas Blancas). Sin embargo presentan dos importantes inconvenientes: por un lado la frecuente presencia de nódulos de sílex, que perjudican enormemente su explotación. Por otro lado, las pocas reservas que estas formaciones constituyen en los diferentes puntos donde afloran, que sólo permite pequeñas explotaciones en las que, en ocasiones, es preciso remover importantes cantidades de material estéril para poder acceder al tramo yesífero de interés.

B) De lo expuesto, se deduce que la selección de zonas canterables de interés debe centrarse preferentemente en los afloramientos del Keuper o bien en las pequeñas formaciones terciarias de borde de cuenca de Monteagudo; Autol o Ribaflecha, aunque para este último caso deben tenerse en cuenta los problemas del sílex y la escasez de reservas.

Los Yesos de Puente La Reina no son descartables, como bien muestran las canteras de Mañeru (las más importantes de las que hemos citado después de las de Viguera, en La Rioja). Sin embargo, también son escasos sus afloramientos, que se restringen en su mayor parte al núcleo del anticlinal de Añorbe. Los Yesos de Falces y Lerín son los que en principio ofrecen menores prespectivas, al menos por lo que se refiere a la producción de yeso de buena calidad o escayolas. A pesar de su gran extensión de afloramiento, no creemos que pueda llegar a obtenerse mejor yeso en estas formaciones del se extrajo en las canteras de Lodosa, Sesma o Lerín, hoy en actual estado de abandono.

C) El tema de la anhidrita en profundidad no parece ser un problema importante en las formaciones yesíferas de Navarra y La Rioja, como se desprende de las observaciones de canteras (en ningún caso hemos observado anhidrita aflorando en el frente de una cantera) y sondeos (los sondeos de Alcanadre permiten ver que la anhidrita se halla a varias decenas de metros de profundidad en los Yesos de Los Arcos). Para estos casos, el nivel de anhidrita parece estar a una cota suficientemente profunda como para no constituir un inconveniente en la explotación del yeso. No ocurre igual en algunas canteras de otras regiones peninsulares, donde la anhidrita apareció a poca profundidad perjudicando la explotación del mismo.

Contenido en $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	UNE/41-169-73
> 95 %	I extra
> 90 %	I
> 80 %	II
> 70 %	III
> 60 %	IV
> 55 %	

Tabla núm 26. Clasificación de los tipos de roca de yeso según su pureza, a partir de las normas UNE (extraído de SANCHEZ JIMENEZ, 1979).

TIPO	Y-12	Y-20	Y-25 G	Y-25 F	E-30	E-35
Aplicaciones más frecuentes	Conglomerado de albañilería	Guarnecidos	Prefabricados	Enlucidos y prefabricados	Decoración, prefabricados	Plancha lisa
<u>COMP. QUIMICA</u> - H ₂ O constante - Índice de pureza	<8 % ≥70 %	<8 % ≥75 %	<8 % ≥80 %	<8 % ≥80 %	<8 % ≥85 %	<8 % ≥90 %
<u>FINURA MOLIDO</u> - Rechazo tamiz 0,2 (UNE 7050)	≤50 %	≤45 %	≤40 %	≤10 %	≤2 %	≤1 %
<u>RESISTENCIA A FLEXOTRACCION</u> En kg/cm ²	≥12	≥20	≥25	≥25	≥30	≥35
<u>TIEMPO FRAGUADO</u> Principio: Final:	Entre 2 y 18 minutos Entre 6 y 90 minutos					

Tabla núm 27. Clasificación de los distintos tipos comerciales de yeso elaborado según las normal del Pliego de Condiciones de España (extraído de SANCHEZ JIMENEZ, 1979).

Tabla nm 28		
CFI-1	K	Yeso masivo alabastrino color grs
CFI-2	K	Yeso laminado-masivo alab. col. grs
CAY-1	K	Yeso masivo alabastrino col. blanco
CAY-3	K	Yeso masivo alabstrino col. grs
CSO-1	P	Yeso micronodular-masivo alab.col.rojo
CMU-1	P	Yeso micronodular-masivo alab.col.grs
CMU-2	P	Yeso micronodular-masivo alab.col.grs
CMA-1	P	Yeso laminado-masivo alab. col.grs
CMA-2	P	Yeso masivo megacristalino
CMA-4	P	Yeso laminado-masivo alab. col.grs
CAZ-1	P	Yeso nodular alabastrino color rojo
CLO-1	L	Yeso laminado megacristalino
LE-22	L	Yeso nodular alabastrino col. blanco
LE-24	L	Yeso laminado alabastrino col. blanco
CSE-1	L	Yeso laminado alabastrino col. grs
CMO-1	M	Yeso primario microlenticular marrón
ABH-3	M	Yeso primario microlenticular marrón
ABH-5	M	Yeso primario microlenticular marrón
ABH-10	M	Yeso primario microlenticular marrón
ABH-11	M	Yeso primario microlenticular marrón
ABB-1	M	Yeso masivo-micronod. alab. col.verde
ABB-6	M	Yeso masivo-nodular alab. col.blanco
ABB-7	M	Yeso masivo-nodular alab. col.blanco
ABE-1	M	Yeso masivo-micronod. alab. col.verde
ABF-1	M	Yeso meganodular alabastrino blanco

La Tabla número 28 presenta las características litológicas de las muestras de cantera analizadas. Se señala también la procedencia de las mismas: K= Keuper (canteras de Fitero (CFI) y Ayegui (CAY)), P= Puente La Reina (canteras de Mus (CHU), Mañeru (CMA) y Azcona (CAZ)), L= Lerín (canteras de Lerín (LE), Lodosa (CLO) y Sesma (CSE)), M= Monteagudo (canteras de Monteagudo (CHO) y Ablitas (AB)).

Tabla nm 29									
muestra	ys	an	ce	cc	do	mg	cz	ar	fd
CFI-1	■				■		◊		
CFI-2	■						*		
CAY-1	■								
CAY-3	■						◊		
CSO-1	■								
CMU-1	■						◊		
CMU-2	■						◊		
CMA-1	■						*		
CMA-2	■						*		
CMA-4	■						*		
CAZ-1	■						*		
CLO-1	■						*		
LE-22	■								
LE-24	■						*		
CSE-1	■						*		
CMO-1	■		*	*			*		
ABH-3	■			■					
ABH-5	■			■					
ABH-10	■			■					
ABH-11	■			■					
ABB-1	■				◊				
ABB-6	■			■					
ABB-7	■			■					
ABE-1	■						◊		
ABF-1	■								

La Tabla número 29 presenta los resultados de difracción de Rayos-X de las muestras de cantera. Se indican las siguientes mineralogías:

ys = yeso cc = calcita cz = cuarzo
 an = anhidrita do = dolomita ar = arcillas
 ce = celestina mg = magnesita fd = feldespatos
 ■ = abundante ◊ = secundario * = trazas

Tabla nũm 30							
ref.	SO ₃	CaO	H ₂ O	CO ₂	rii	rio	Σ
CFI-1	14.27	9.80	6.20	23.38	35.23	8.92	97.80
CFI-2	43.53	30.77	19.25	0.54	3.20	1.06	98.35
CAY-1	40.46	28.68	18.00	0.24	7.10	4.76	99.24
CAY-3	41.44	28.95	18.13	0.72	6.13	1.19	96.56
CSO-1	43.00	30.42	19.27	0.81	3.61	1.52	98.63
CMU-1	41.01	29.37	18.10	0.45	6.97	2.15	98.05
CMU-2	42.77	30.74	19.20	0.72	3.83	1.08	98.34
CMA-1	43.67	30.77	19.20	1.09	3.80	0.71	99.24
CMA-2	44.35	31.05	19.10	1.27	3.72	0.73	100.22
CMA-4	44.79	31.48	20.00	0.72	1.49	0.31	98.79
CAZ-1	43.22	31.44	19.20	1.36	3.91	0.53	99.66
CLO-1	41.64	29.22	19.03	2.31	3.98	1.05	97.23
LE-22	44.84	31.77	20.30	0.37	0.42	0.51	98.21
LE-24	42.74	30.24	19.92	0.37	2.66	1.41	97.34
CSE-1	44.12	30.78	20.23	0.36	2.05	0.71	98.25
CMO-1	44.76	31.48	19.30	0.36	1.82	0.84	98.56
ABH-3	34.45	23.99	15.30	9.30	14.17	0.31	97.52
ABH-5	32.90	24.46	14.31	11.90	15.14	0.20	98.91
ABH-10	20.96	14.43	9.45	22.56	28.71	-0.64	95.47
ABH-11	37.70	25.66	16.30	6.54	10.48	0.71	97.39
ABB-1	35.36	25.06	15.42	7.40	12.97	2.19	98.40
ABB-6	23.93	17.23	9.96	19.89	25.31	0.64	96.96
ABB-7	35.70	24.59	15.02	9.41	11.97	0.82	87.51
ABE-1	40.06	28.07	18.08	0.53	9.21	2.89	98.84
ABF-1	45.29	31.67	19.60	0.41	0.44	1.05	98.46

La Tabla número 30 presenta los resultados obtenidos del análisis en roca total, de las muestras de cantera. Los valores corresponden a: SO₃, CaO, H₂O, CO₂, residuo insoluble inorgánico (rii), que se detalla en la Tabla 3f, y residuo insoluble orgánico (rio).

Tabla n ^o m 31								
ref.	Al2O3	SiO2	K2O	Na2O	MgO	CaO	Fe2O3	Σ
CFI-1	0.10	1.07	0.12	0.05	14.11	19.36	0.15	35.23
CFI-2	0.28	1.87	0.10	0.02	0.47	0.28	0.18	3.20
CAY-1	0.14	1.13	0.12	0.02	1.65	3.78	0.26	7.10
CAY-3	0.67	3.21	0.25	0.01	1.02	0.71	0.26	6.13
CSO-1	0.22	0.89	0.07	0.03	0.60	1.67	0.13	3.61
CMU-1	1.11	3.40	0.23	0.11	0.73	1.02	0.37	6.97
CMU-2	0.37	1.99	0.10	0.02	0.44	0.74	0.17	3.83
CMA-1	0.31	1.93	0.08	0.11	0.12	1.15	0.10	3.80
CMA-2	0.37	1.38	0.09	0.06	0.12	1.53	0.17	3.72
CMA-4	0.06	0.83	0.04	0.02	0.11	0.36	0.07	1.49
CAZ-1	0.45	1.81	0.11	0.01	0.07	1.23	0.23	3.91
CLO-1	0.34	1.21	0.12	<0.02	1.69	0.62	--	3.98
LE-22	<0.1	<1.0	<0.1	<0.02	0.19	0.23	--	0.42
LE-24	0.32	1.01	0.12	<0.02	0.98	0.23	--	2.66
CSE-1	0.10	0.95	0.05	0.04	0.59	0.22	0.10	2.05
CMO-1	0.12	1.32	0.05	0.03	0.04	0.21	0.05	1.82
ABH-3	0.44	1.63	0.14	<0.02	0.32	11.64	--	14.17
ABH-5	<0.1	<1.0	<0.1	<0.02	0.19	14.95	--	15.14
ABH-10	<0.1	<1.0	<0.1	<0.02	0.19	28.52	--	28.71
ABH-11	0.12	1.76	0.10	<0.02	0.18	8.32	--	10.48
ABB-1	0.32	1.37	0.10	<0.02	4.19	6.99	--	12.97
ABB-6	<0.1	<1.0	<0.1	<0.02	0.36	24.95	--	25.31
ABB-7	<0.1	<1.0	<0.1	<0.02	0.17	11.80	--	11.97
ABE-1	0.96	5.74	0.20	<0.02	2.07	0.24	--	9.21
ABF-1	<0.1	<1.0	<0.1	<0.02	0.14	0.30	--	0.44

La Tabla número 31 presenta los resultados obtenidos del residuo insoluble inorgánico de las muestras de cantera.

La Tabla número 32 muestra los resultados mineralógicos obtenidos a partir de los análisis químicos de las tablas 30 y 31, utilizando el método interpretativo expuesto en el apartado 7.2.3. Los minerales que se indican son: Ys = yeso, Cal = calcita, Dol = dolomita, Sil = silicatos (cuarzo + minerales de las arcillas), R.O. = residuo orgánico.

La Tabla número 33 presenta el grado de pureza de las muestras analizadas siguiendo las normativas UNE que se señalan en la Tabla 26.

Tabla núm 32						
ref.	Ys.	Cal.	Dol.	Sil.	R.O.	Σ
CFI-1	30.27	--	48.86	9.75	8.92	97.80
CFI-2	93.55	--	1.12	2.62	1.06	98.35
CAY-1	87.14	--	0.50	6.84	4.76	99.24
CAY-3	88.52	--	1.51	5.34	1.19	96.56
CSO-1	92.69	--	1.68	2.74	1.52	98.63
CMU-1	88.48	--	0.93	6.49	2.15	98.05
CMU-2	92.71	--	1.51	3.04	1.08	98.34
CMA-1	93.64	--	2.27	2.62	0.71	99.24
CMA-2	94.50	--	2.65	2.34	0.73	100.22
CMA-4	96.27	--	1.51	0.70	0.31	98.79
CAZ-1	93.86	--	2.84	2.43	0.53	99.66
CLO-1	89.89	--	4.82	1.47	1.05	97.23
LE-22	96.91	--	0.70	0.09	0.51	98.21
LE-24	92.90	--	0.70	2.33	1.41	97.34
CSE-1	95.15	--	0.75	1.66	0.71	98.25
CMO-1	95.54	0.81	--	1.37	0.84	98.56
ABH-3	73.74	21.13	--	2.34	0.31	97.52
ABH-5	71.67	27.04	--	--	0.20	98.91
ABH-10	44.84	51.27	--	--	-0.64	95.47
ABH-11	79.66	14.86	--	2.16	0.71	97.39
ABB-1	75.84	--	15.46	4.91	2.19	98.40
ABB-6	51.12	45.20	--	--	0.64	96.96
ABB-7	75.31	21.38	--	--	0.82	97.51
ABE-1	86.21	--	1.10	8.64	2.89	98.84
ABF-1	96.56	--	0.85	--	1.05	98.46

Tabla nm 33			
CFI-1	--	LE-22	I extra
CFI-2	I	LE-24	I
CAY-1	II	CSE-1	I extra
CAY-3	II	CMO-1	I extra
CSO-1	I	ABH-3	III
CMU-1	II	ABH-5	III
CMU-2	I	ABH-10	--
CMA-1	I	ABH-11	III
CMA-2	I	ABB-1	III
CMA-4	I extra	ABB-6	--
CAZ-1	I	ABB-7	III
CLO-1	II	ABE-1	II
		ABF-1	I extra

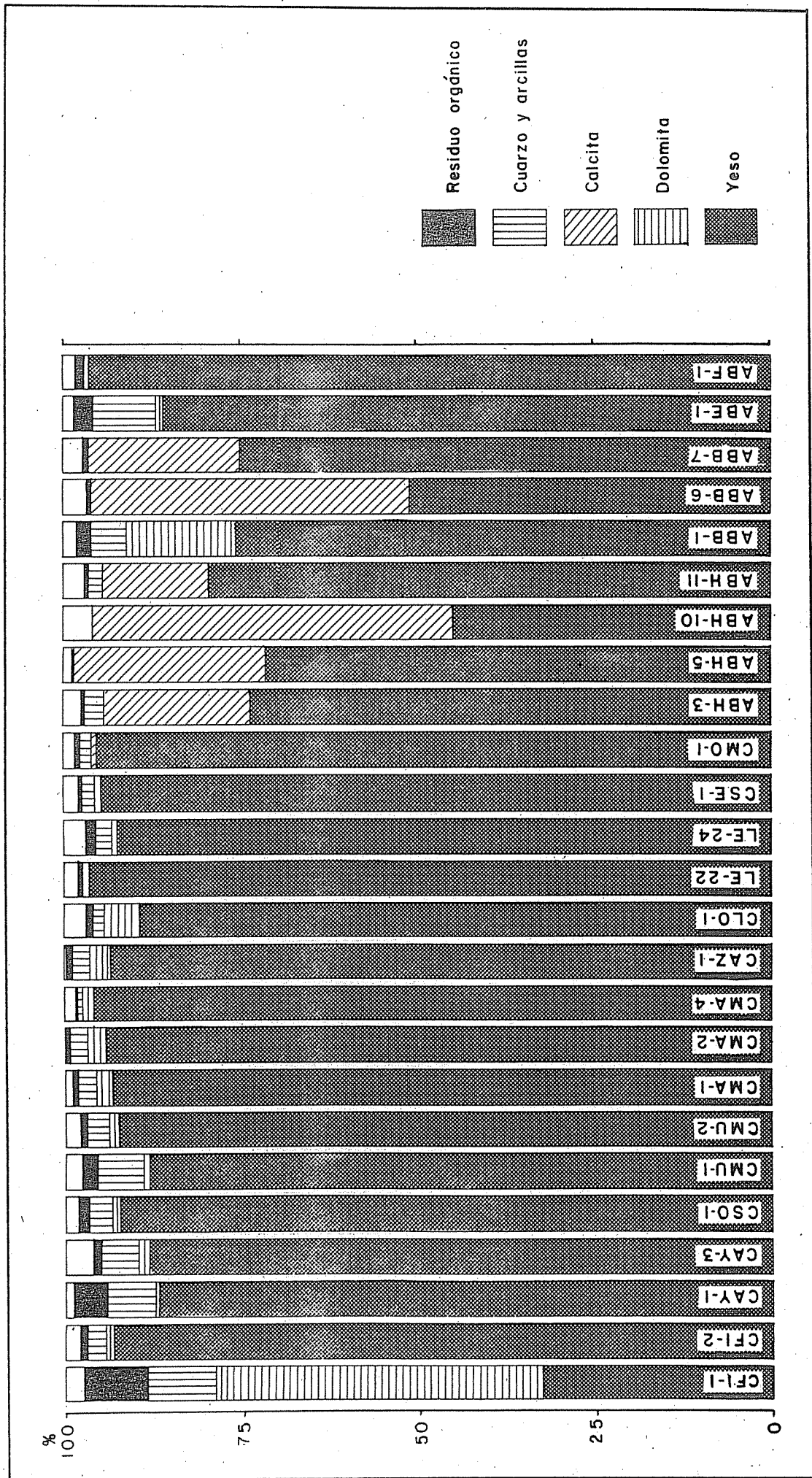


Figura 61.- Resultados mineralógicos obtenidos de las muestras de cantera. Se indican las proporciones en cada muestra: yeso, dolomita, calcita, fracción silicatada y residuo orgánico.

7.2.- LA SAL GEMA (halita).

En la Ribera navarro-riojana hay sal o indicios de sal en las siguientes formaciones evaporíticas:

- Keuper (Triásico superior).
- Formación potásica (Eoceno superior).
- Yesos de Puente La Reina (Oligoceno inf.)
- Yesos de Falces (Oligoceno medio).
- Yesos de Lerín (Oligoceno sup.-Mioceno).

A pesar de ello sólo existe en la actualidad una única explotación en activo que se beneficie de este recurso mineral: se trata de las Salinas de Oro (Navarra), emplazadas sobre el diapiro triásico del mismo nombre (fig. 60). En esta explotación se extrae la sal a partir de las aguas salinas que drenan el diapiro.

Otras instalaciones salineras cercanas, actualmente abandonadas o desaparecidas son: las salinas de Lerín, en las que se explotaba un manantial salino procedente de la unidad Sesma (Fm. Lerín), y las Salinas de Eunate, en el núcleo del anticlinal de Añorbe, de las que se extraía la sal a partir de un manantial procedente de los Yesos de Puente La Reina (o tal vez de los niveles salinos de la formación potásica situados por debajo de estos últimos). Otras instalaciones salineras, algo más alejadas, son las Salinas de Añana (Guipuzcoa), Salinas de Rosario (Burgos), Poza de La Sal (Burgos), etc. situadas sobre diversos diairos triásicos de la región cantábrica.

En mina, la sal se explota actualmente en Remolinos (Fm. Yesos de Zaragoza) (REMOLSAL, PURASAL S.A.), tratándose de una de las explotaciones más importantes del País de este género. También se ha explotado la sal en mina en Arrúbal (Yesos de Los Arcos), aunque en la actualidad las instalaciones están abandonadas y en estado ruinoso, así como en Cabezón de La Sal (Santander, Keuper), también en actual estado de abandono.

Cerca de Pamplona, en las labores mineras que explotan las potasas de la Fm. Guendulain, se extraen importantes cantidades de sal gema juntamente con la potasa, pero en este caso la sal es considerada un subproducto.

En la actualidad, la principal producción de sal gema (halita), tanto de procedencia marina (salinas marítimas) como continental (formaciones evaporíticas), tiene como destino la industria química. En ésta, mediante la sal se obtienen diferentes productos con interés industrial: cloro, hidróxido sódico, sosa, ácido hidroc্লórico, sulfato sódico, etc. No obstante, la sal también tiene salida en otros campos, como el alimentario (sal doméstica, salazón de carnes y pescados, etc.), así como en la industria textil (en el teñido de tejidos) y en la red de carreteras de los países con climas fríos (deshielo de calzadas).

Los métodos de explotación de la sal son básicamente de tres tipos:

a) salinas, en las que por evaporación se concentran aguas salinas procedentes del mar o de manantiales, y la sal precipita de forma natural en balsas llamadas "cristalizadores". Las salinas marítimas continúan teniendo en la actualidad un buen desarrollo y rentabilidad, pero no ocurre lo mismo con las que explotan manantiales salinos, que cada vez más han ido siendo abandonadas debido a su escasa productividad.

b) minas. Es un tipo de explotación menos corriente, pero en algunos casos de gran rentabilidad (ya hemos citado el caso de las minas de Remolinos).

c) disolución de la sal en profundidad. En Polanco (Santander), se explota la sal (SOLVAY) del Keuper que se halla a una profundidad de 400 a 800 m. mediante un sistema de perforaciones con inyección de agua dulce que disuelve la sal y regresa a la superficie en forma de una salmuera rica en NaCl. También se explota la sal por este procedimiento en Pinoso (Alicante) (Unión Salinera de España S.A.), en el diapiro triásico del mismo nombre, así como en otros países europeos (Francia, Alemania...).

Datos sobre estas explotaciones y otras del territorio español se ofrecen en RIOS (1963).

Para la región navarro-riojana la valoración de los recursos en sal gema deben partir básicamente de estudios de subsuelo en las formaciones evaporíticas que se han señalado pues, como se ha comentado, este mineral no llega a aflorar prácticamente nunca.

Como criterios de prospección a partir de los datos que hemos obtenido de las diferentes formaciones evaporíticas estudiadas, pueden darse las siguientes indicaciones:

* Para los Yesos de Puente La Reina, la prospección debe centrarse principalmente en el depocentro de la formación, que como se ha expuesto, corresponde a la zona del anticlinal de Añorbe. En este caso, el desarrollo de potentes tramos salinos se pone bien de manifiesto en los sondeos P.O.1 y P.O.2 (fig. 24), en el que la acumulación de sal puede estar en buena parte condicionada por el carácter diapírico del núcleo del anticlinal.

Fuera de esta zona, aunque se han indicado niveles de sal entre las evaporitas (DEL VALLE y PUIGDEFABREGAS, 1977), sus reservas serán probablemente mucho menor debido al escaso desarrollo evaporítico de la formación fuera del depocentro de la misma, como consecuencia del carácter marginal de sus facies.

* El sondeo de Marcilla-1 ha permitido ver que el desarrollo de niveles de sal entre los Yesos de Falces es notable (fig. 27). También están bien representados los niveles de sal entre los tramos yesíferos principales de la Fm. Lerín (sondeos de Alcanadre, manantiales salinos de Mendavia, Lerín, etc.).

Los principales niveles salinos de estas dos formaciones están en relación con las unidades yesíferas de mayor desarrollo (unidades Los Arcos, Sesma y Alcanadre, para el caso de los Yesos de Lerín) y en las zonas internas de las mismas (fig. 35). Por las características observadas en los testigos de sondeo, los tramos salinos no llegan a presentar un grado de pureza ni espesor como el que llega a tener la sal en Remolinos. Tal vez los testigos de sondeo que hemos estudiado correspondan a zonas de poco desarrollo de estas facies, lo que no descarta la posibilidad de capas salinas más potentes en otros puntos de estas formaciones.

* Podemos descartar las pequeñas formaciones de margen de cuenca (Yesos de Monteagudo, Borja, Autol y Ribaflecha) en la prospección de niveles salinos, al tratarse de medios evaporíticos de baja salinidad en los que como

característica propia se excluye la presencia de facies salinas.

* Finalmente, debemos también citar a las evaporitas del Keuper en este apartado pues, como ya es conocido desde antiguo, son ricas en niveles salinos, que en muchos casos se hallan acumulados por efectos diapíricos. No entraremos en consideraciones de detalle sobre estos materiales aunque sí podemos decir que hay diversos trabajos que exponen sus características litológicas y estructurales (LOTZE, 1955, RIOS, 1963, BRINKMANN y LOGTERS, 1968, KIND, 1967 y SERRANO et.al. 1987, entre otros).

7.3.- EL SULFATO SODICO-CALCICO (GLAUBERITA).

El sulfato sódico es un producto que tiene aplicación en diferentes sectores de la industria:

- a) Los principales consumidores son los sectores del papel (más de la mitad de la producción) y los detergentes.
- b) También lo son los del vidrio, productos farmacéuticos, textil y de la alimentación, aunque en estos casos el consumo es mucho menor.

A nivel mundial, el mayor porcentaje de sulfato sódico (aprox. 60%) se obtiene como producto sintético a partir de diferentes procedimientos químicos. La restante producción es a partir de recursos naturales, que pueden ser de dos tipos: 1) sedimentos o salmueras de lagos actuales (Canadá, EE.UU...), 2) yacimientos de minerales de sulfato sódico en formaciones evaporíticas antiguas.

A pesar de que son varios los minerales que contienen sulfato sódico en mayor o menor proporción en su estructura cristalina, los únicos que tienen interés económico son los siguientes:

mineral		% sulfato sódico
- Thenardita	Na_2SO_4	100
- Glauberita	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	51.1
- Mirabilita	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	44.1

España es el único país europeo que presenta yacimientos de sulfato sódico, y por tanto el único de entre ellos donde se presentan explotaciones de este tipo de mineral. En la actualidad sólo tres se mantienen en activo:

- Villarrubia de Santiago (Toledo), actualmente a cargo de la empresa CROS (antiguamente lo fue de Unión Salinera de España, S.A.). Se trata de una explotación minera que se beneficia de un importante nivel de thenardita (10 m. de potencia) entre las evaporitas del Mioceno de la cuenca del Tajo (figs. 55 y 56).
- Villaconejos (Madrid), a cargo de SULQUISA, que explota niveles de glauberita también del Mioceno de la cuenca del Tajo.
- Cerezo de Río Tirón (Burgos), a cargo de CRIMIDESA, que explota las glauberitas del Mioceno del extremo occidental de la cuenca del Ebro.

Ya se ha comentado (apartado 5.1) que existen otros yacimientos de glauberita en formaciones terciarias, pero de momento son mal conocidas sus características y reservas, de cara a su beneficio industrial.

Las explotaciones citadas son de dos tipos: por mina o por disolución.

Cuando el nivel que se desea explotar se halla a varias decenas de metros de profundidad, como es el caso de la thenardita de Villarrubia de Santiago, la explotación se realiza mediante galerías (minas de El Castellar).

En Cerezo de Río Tirón, la glauberita constituye un extenso nivel tabular a techo de la serie terciaria, lo que permite su explotación mediante un proceso de disolución. Para ello se retira la cobertura de material estéril formando una balsa o estanque en el fondo del cual se deja

aflorar el techo de la capa de glauberita. La capa es fracturada con explosivos y luego se inunda con agua, que disuelve el mineral y se convierte en una salmuera rica en sulfato sódico. Esta salmuera es conducida finalmente a la planta de tratamiento donde se obtiene el producto comercial.

Al igual que ocurre con la sal, la glauberita es un mineral que difícilmente llega a aflorar debido a su carácter soluble, por ello resultan imprescindibles los estudios de subsuelo en su prospección. No obstante, el estudio petrológico y sedimentológico que hemos realizado nos permite aportar algunos criterios en la selección de zonas con niveles de glauberita:

* En la Ribera navarro-riojana debe centrarse la prospección de glauberita en las formaciones Falces y Lerín, donde se tienen claros indicios de este mineral. En los Yesos de Puente La Reina, aunque no descartamos la posibilidad de su presencia, consideramos que el desarrollo de niveles de sulfato sódico son poco probable, debido a las características petrológicas de sus materiales, bien diferentes de las que ofrecen las formaciones evaporíticas peninsulares donde se hallan este tipo de sulfatos.

Pueden descartarse en la prospección de glauberitas las formaciones evaporíticas del Keuper y Potasas de Navarra, por su origen marino (las glauberitas son facies típicamente continentales), y las de Monteagudo, Borja, Autol y Ribaflecha, cuya asociación de facies, bien establecida como ya se ha visto, excluye la presencia de niveles de sulfato sódico.

* En las formaciones Falces y Lerín no hemos observado niveles de thenardita como los que se hallan en la cuenca del Tajo. Sin embargo, debido a las similares características petrológicas y genéticas de estos diferentes yacimientos, no descartamos la posibilidad de que la thenardita pueda estar desarrollada también entre los Yesos de Falces y Lerín.

* Tal como se ha expuesto en el apartado 5.4, la glauberita está desarrollado entre las facies de playa ("zona

intemedias" del playa-lake, fig. 30), en relación con facies laminadas de yeso y sal de estas formaciones. En este sentido, la prospección de este mineral debe centrarse en los tramos evaporíticos más desarrollados y en una posición interna a los mismos (unidades Los Arcos, Sesma, Alcanadre...). Dentro de estos tramos las capas de glauberita más potentes estarán desarrolladas preferentemente en los niveles inferiores (fig. 31).

* Las capas de glauberita más potentes y puras observadas, no superan los 2-4 m. de potencia, y tienen una extensión lateral de varias decenas o algún centenar de metros. Estas capas, tal como se observan en el corte de la ermita de Aradón, terminan de forma brusca o por acuñamiento rápido entre los yesos laminados entre los que se encajan.



L A M I N A 27.

Foto 127.- Vista panorámica de las canteras de Mañeru, en el núcleo del anticlinal de Añorbe, donde se explotan los Yesos de Puente La Reina.

Foto 128.- Canteras de Fitero, donde se explotan los yesos del Keuper adosados al margen septentrional de la Sierra de Cameros.

Foto 129.- Canteras de Ayegui, donde se explotan los yesos del Keuper correspondientes al diapiro de Estella.