

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

REVISTA DE
CIENCIAS



Segunda Serie

Enero-Julio
OVIEDO
1951

Tomo I N.º 1



SUMARIO

	<u>Páginas</u>
<i>Lucas R. Pire</i> : Estructura, macro y microscópica del carbón.....	3
<i>Lucas R. Pire</i> : Origen y formación del carbón	29
<i>E. Solé Sabaris</i> : Las aguas subterráneas del Llano de Sitges (Provincia de Barcelona).....	63
<i>N. Llopis Lladó</i> : Estudio hidrogeológico de los alrededores de Caldas de Malavella (Gerona).....	85
<i>Joaquín Montoriol Pous</i> : Estudio geoespeleológico del «Forat de les Gralles» (Bellver de Cerdaña, Lérida).....	147

NOTA.—Las opiniones y hechos consignados en los artículos de esta Revista son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los mismos.

ESTRUCTURA, MACRO Y MICROSCOPICA DEL CARBON

POR

LUCAS RODRIGUEZ PIRE

Catedrático de Química Técnica de la Universidad de Oviedo

Importancia industrial del carbón

No es fácil precisar cuando comenzó a utilizarse el potencial energético del carbón. Aunque se pretende remontar al siglo IV a. de J. las referencias a este combustible, quizá la más antigua y precisa sea la de Aristóteles, quien lo definió como «cuerpo que contiene más tierra que humo.»

Teofrasto y Plinio lo mencionan, así como el uso que de él hacían los herreros y, a juzgar por su localización en Tracia, al norte de Grecia y en Liguria, al noroeste de Italia, debían referirse al lignito.

Marco Polo, en las crónicas de su viaje a China, a fines del siglo XIII, describió su empleo en aquel país. Con anterioridad a esta fecha, quizá ya en el siglo XI, comenzó la explotación en Europa, con carácter muy localizado, siendo probablemente en Sajonia donde la explotación alcanzó mayor antigüedad.

Hasta entonces, el único combustible utilizado era la leña y, como la construcción de edificios, barcos, etc., se hacía a base de



madera, llegó a constituir un serio problema la posibilidad de su agotamiento.

El crecimiento lento, pero constante, de la siderurgia agravó esta situación por el gran consumo de carbón vegetal que hacía esta industria, trasladada continuamente, de bosque en bosque, para asegurarse un combustible que rápidamente agotaba.

El uso doméstico del carbón tropezaba, aun en el siglo XVII, con las restricciones impuestas en muchas poblaciones, a causa del humo y hollín que producía. En el reinado de Enrique II de Francia, los herreros necesitaban una licencia especial para usarlo en París y quizá contribuyese y no poco, el uso que hacían de este combustible mineral, al mal concepto que la gente tenía de los forjadores y alquimistas.

A mediados del siglo XVIII, se comenzó a sustituir el carbón vegetal por el coque, en los hornos altos, lo que dió un impulso considerable a la extracción de la hulla.

A principios del siglo XIX, comienza el aprovechamiento de los productos de destilación de la hulla, utilizándose el gas como sistema de alumbrado, y mediado ya ese mismo siglo, se inicia la industria química orgánica de los derivados del alquitrán. La generalización del empleo del vapor, como fuerza motriz, fija en las disponibilidades de carbones minerales, la potencialidad militar, económica y por consiguiente política, de los distintos países, dibujándose ya como primeras potencias los Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Rusia, poseedoras de grandes riquezas carboníferas, fácilmente explotables.

Durante la primera guerra europea, la síntesis del amoniaco a partir de hidrógeno obtenido por gasificación del carbón, la hidrogenación a presión de carbones y alquitranes, etc., creó una formidable y variadísima industria química en la que gasolinas, colorantes, plásticos, productos farmacéuticos, etc., tienen su primera materia en el carbón.

Por esto, nada tiene de extraño que una multitud de investigadores y técnicos de todos los países hayan concentrado el esfuerzo de su trabajo en estudiar nuevas aplicaciones y un mejor aprovechamiento de una materia prima que, por los cuantiosos

capitales que moviliza y por la extensión casi ilimitada de sus aplicaciones, constituye hoy la base de toda la economía industrial.

Pudiera parecer que un tema de tan capital importancia y que tanto interés ha despertado estuviese ya casi agotado y, sin embargo, nada más lejos de la realidad. Con el carbón ocurre lo que con otros temas también de extraordinario interés para la humanidad, como el cáncer; se ha estudiado mucho y se sabe muy poco; a penas se ha salido del terreno de las conjeturas y, sin embargo, es evidente que para utilizar bien el carbón, es preciso conocerlo. Por eso, todos los países que ocupan un puesto destacado en la cultura universal dedican a su estudio sumas y esfuerzos considerables y también España se ha considerado en el deber de aportar su cooperación a este fin encomendado al Instituto Nacional del Carbón.

El vulgo tiene el concepto erróneo de que el carbón es un compuesto químico más o menos complicado, pero definido o definible. En realidad, se trata de un gel en el que se encuentran dispersas numerosas sustancias químicas de muy difícil separación y aislamiento, en un grado de polimerización muy variable de unos carbones a otros, dependiente de una compleja serie de circunstancias.

Si calentamos un trozo de hulla, observamos que se desprenden de él agua, materias volátiles en las que podemos identificar diversos hidrocarburos, compuestos amónicos, etc., etc.; pero tal procedimiento de disgregación es tan enérgico que no podemos asegurar que las especies químicas separadas existiesen previamente en el carbón o si se han producido por demolición de otros compuestos más complejos, bajo la acción del calor.

A semejanza de lo que ocurre en el estudio de los albuminoides, se siente la necesidad de disponer de medios de desarticulación más finos y menos destructores. Como decía, a este respecto, Carracido, no es el hacha sino el escalpelo el instrumento adecuado para la disección de delicadas estructuras anatómicas.

Examen macroscópico

La observación directa del carbón nos permite reconocer en él una serie de caracteres diferenciales.

La *dureza* es muy variable, desde los lignitos muy blandos hasta la antracita, en la que suele estar comprendida entre 2,75 y 3 de la escala de Mohs. En las semiantracitas, suele ser de 2,5 a 2,75. En general, aumenta con el grado de carbonización.

El *color* varía del pardo, más o menos oscuro, de los lignitos al negro grisáceo y negro azabache de los carbones superiores.

El color oscuro es debido, según Donath, a la presencia de hidrocarburos resultantes de una destilación natural y, según Rammann, al carbono amorfo o a compuestos de alto contenido en carbono.

En algunas muestras, se aprecian *irisaciones* superficiales producidas por una oxidación de la película exterior, lo que puede revelar una alteración en fracturas no recientes. Esas irisaciones son sustituidas, poco a poco, por un brillo débil cada vez más apagado.

El *lustre* puede ser brillante, como en las buenas antracitas, o mate como en algunos carbones bituminosos y aun en algunas antracitas. En los lignitos, es siempre mate y aun terroso mientras que, en los carbones subbituminosos, varía del mate al brillante y satinado como el de algunos betunes sólidos.

El *trazo*, sobre porcelana sin baño, varía del amarillo al pardo en los lignitos y del pardo al negro en los carbones bituminosos, siendo tanto más oscuro cuanto mayor sea el contenido en carbono. Algunas hullas muy ricas en hidrógeno dan un trazo pardo parecido al de los lignitos.

Ya en 1887, distinguía Fayol¹ cuatro constituyentes macroscópicos en las hullas de Commentry, que designó con los nombres de hulla clara, hulla media, hulla mate y fuseno señalando que no todas las hullas estaban formadas por esos cuatro componentes, careciendo bien de la hulla media o de la hulla mate y dió a conocer las diferencias analíticas encontradas entre dichos componentes.

En 1919, M. Stopes² generalizó la diferenciación entre dichos componentes a los que dió los nombres de vitreno, clareno, dureno y fuseno, respectivamente.

Los autores alemanes adoptaron seguidamente para designar estos componentes los nombres de Vitrit o Glanzkohle, Durit o Mattkohle y Fusit o Fasserkohle, considerando al clareno, más que como componente definido, como una mezcla íntima de vitreno y de dureno, en la que podía predominar cualquiera de los dos. En los Estados Unidos, se adoptó la terminología propuesta por Thiessen³ que comprende el antraxylon, equivalente al vitreno, el attritus, que corresponde al dureno y el mineral charcoal o fuseno, prescindiendo, como los autores alemanes, del clareno.

Frecuentemente, estos componentes se presentan en capas o bandas superpuestas, a veces muy delgadas y alternantes, sobre todo en las hullas bituminosas (con más de 26 por 100 de materias volátiles) formando las hullas listadas, Banded coal de los angloamericanos, Streifenkohle de los alemanes o charbon zoné de los franceses. (Fig. 1.)

La fractura de los carbones es otro de sus caracteres diferenciales; rara vez es plana; muy frecuentemente concoidal; es decir, formando superficies cóncavas.

La fractura concoidal suele ser característica de las rocas muy homogéneas y de fina estructura, como el sílex o las calizas litográficas y parece revelar una estructura coloidal.

Los carbones bituminosos dan una fractura cúbica; los subbituminosos irregular, desde una especie de cuadros a subconcoidal y los lignitos tienden a astillarse en fragmentos alargados, paralelos al lecho de estratificación, de aspecto irregular.

Los carbones bituminosos duros, como el dureno y la variedad conocida como splint coal muestran una fractura que puede ser astillosa hasta subconcoidal.

Las semiantracitas suelen ser frágiles y rompen en numerosos fragmentos pequeños de diversas caras.

Ciertas hullas del Ruhr ofrecen una fractura prismática que pa-

sa de un lecho de vitreno a otro de dureno, en el que se interrumpen.

La rotura se produce siempre según planos de mínima resistencia determinados por la laminación, la esquistosidad, la fisuración o cualquier otra irregularidad.

Las *d i a c l a s a s* son los planos de rotura que cortan al carbón independientemente de la estratificación o de los planos de separación de los distintos constituyentes.

En las capas de carbón se encuentran fundamentalmente dos series de fisuraciones, una, generalmente predominante, normal al lecho y paralela a la dirección de buzamiento y otra paralela al lecho, especialmente en la superficie de separación de dos constituyentes.

Las *grietas de contracción* son debidas a la disminución de volumen que acompaña a la desecación de un coloide, como el carbón, y por ellas suelen encontrar vía de penetración las impurezas minerales. Abundan, especialmente en el vitreno, por su estructura más homogénea y por su carácter más típicamente coloidal (Fig. 2).

Está bastante extendida la idea de que, en el hemisferio norte, las hendiduras y fisuraciones están preponderantemente orientadas hacia las dos del reloj de sol y en cambio en el hemisferio sur, en dirección perpendicular a la anterior⁴. Esto no tendría más explicación que un desplazamiento equatorial de la superficie debido al movimiento de rotación de la tierra; pero Moore⁵ no ha podido confirmar tal hipótesis con datos recogidos en Norteamérica, Méjico y Canadá, donde no encontró tal uniformidad.

La *presión* produce numerosos cambios en la textura del carbón. La estructura *lenticular* resulta del efecto de una presión orientada en que el carbón se comprime sobre sí mismo, en el seno de una masa homogénea, interpenetrándose en cuña. Es más frecuente en los carbones de mayor plasticidad, como las antracitas, capaces hasta de embutirse en las fallas de las areniscas del muro y del techo.

Hay una variedad de antracita, denominada «ojo de pájaro» que presenta zonas concéntricas más claras y una estructura centrorradiada (Fig. 3.)

La estructura *cono en cono* es debida también a una presión. La textura interna es fibrosa y presenta en la superficie estrias circulares.

Cuando una capa de carbón ha estado sometida a compresiones mecánicas, se ha *mylonitizado*, según expresión de Duparque; es decir, que la capa se lamina en algunos puntos y se espesa en otros. Hasta ciertos límites, no se producen alteraciones en sus caracteres químicos y estructurales; pero si el fenómeno alcanza una cierta intensidad, pueden variar el contenido en materias volátiles y el grado de carbonización. La estructura se agrieta. Los planos de esquistosidad se multiplican en todos los sentidos y la roca se hace granulosa, bréquica y aun pulverulenta.

Son típicas estas estructuras en las antracitas del permo-carbónífero alpino. En ellas, el contenido en cenizas es alto por la facilidad de penetración de las aguas mineralizadas a través de sus numerosas y amplias grietas. Por efecto de la alta presión, la carbonización ha alcanzado un grado más alto, con el correspondiente descenso en el contenido de hidrógeno y elevación del de carbono; la dureza y la densidad son más elevadas y aunque la transformación no llega hasta el estado de gráfico, puede aproximarse.

Microestructura de los carbones

A simple vista, no es posible reconocer en el carbón ninguna estructura que revele los materiales originales de que procede.

El examen microscópico permite una mayor diferenciación; pero requiere técnicas especiales que describiremos brevemente.

La observación microscópica puede hacerse por transmisión o por reflexión de la luz. El primero de estos procedimientos, muy empleado en los Estados Unidos, donde Thiessen fué el promotor de esta técnica que requiere cortes extraordinariamente finos, ha logrado algunos de solo 4 o 5 micras de espesor, aunque, habitualmente, suele ser de unas veinticinco micras, como los que se preparan para el examen microscópico de las rocas; pero con mayor dificultad aun en el caso de las hullas, a causa de su mayor fragilidad.

El procedimiento consiste en pulir perfectamente una superficie plana del carbón, normal o paralela al plano de extratificación; se seca bien; se introduce unos minutos en parafina líquida caliente; se seca nuevamente y se fija a un portaobjetos con Bálsamo del Canadá, adicionado a veces con caucho y laca dispersos en alquitrán de hulla. El grueso de la muestra se va desgastando con abrasivos, cada vez más finos, hasta alcanzar un adelgazamiento suficiente y uniforme, puliéndose entonces la superficie que queda libre.

Para el examen por reflexión, basta hacer un fino pulimento en una superficie, por una técnica análoga a la empleada habitualmente en metalografía, comenzando por un desbastado a mano seguido del empleo de abrasivos, cada vez más finos, sobre discos de vidrio o de fieltro, hasta que la muestra no presente estrías de pulimento. Esto es difícil de lograr en los carbones frágiles, de fractura irregular, especialmente en las antracitas y en algunas hullas.

Aunque la observación puede hacerse directamente en las superficies pulimentadas, generalmente se someten antes a un ataque que, al actuar más enérgicamente sobre unas superficies que sobre otras, permite destacar sus diferencias, lo mismo que en las observaciones metalográficas.

Una forma de ataque muy corriente consiste en pasar la preparación sobre una llama, después de haberla secado a 200-300°. De esta forma, algunos constituyentes se oxidan y otros permanecen más inalterados.

Otra forma frecuente de ataque consiste en someter la muestra, después de pulida, a la acción de la mezcla de Schulze (ácido nítrico concentrado y clorato potásico) o de la mezcla crómica (ácido sulfúrico y cromato potásico); oxidación con agua oxigenada concentrada seguida de tratamiento por una disolución alcalina; ataque por la tetralina (tetrahidronaftaleno) o por el oxícloruro de selenio, etc.)

En general, los carbones bituminosos se atacan con relativa facilidad, siendo más difícil de lograr en las antracitas y en las hullas brillantes. Algunos investigadores, como Duparque, prefieren prescindir del ataque, mientras que otros estiman que, sin ataque pre-

vio, pueden pasar desapercibidas algunas estructuras, sobre todo en la antracita.

El examen microscópico de los carbones revela:

- A) Una masa amorfa que sirve de cemento de unión.
- B) Residuos vegetales organizados.

La *masa fundamental* se caracteriza por su carencia de estructura; es homogénea, brillante, ocupa todos los espacios que quedan entre los cuerpos organizados depositados en ella y les sirve de cemento de unión, relleno hasta las cavidades más insignificantes, lo que revela su naturaleza coloidal y su formación por coagulación de sustancias orgánicas disueltas o pseudodisueltas en las aguas de la laguna hullera, aprisionando, en su contracción por desecación, a los cuerpos figurados que habían penetrado en ella, al sedimentarse.

Esta masa fundamental (*grundmasse* de los alemanes) constituye la casi totalidad del vitreno y puede presentarse formando, por sí sola, lechos de considerable espesor y gran extensión, especialmente en las antracitas o alternando con lechos más o menos ricos en cuerpos figurados o con fuseno, en los carbones listados. (Fig. 1).

En los lechos de esta masa se observan, como hemos dicho anteriormente numerosas fisuras, sensiblemente perpendiculares al plano de estratificación, debidas a la sinéresis del gel coloidal; es decir, a su contracción por pérdida de agua. Estas fisuras se rellenan frecuentemente de sustancias minerales, principalmente piritita, calcita o siderita.

Su origen ha debido ser el mismo que el de la *dopplerita* que se forma en las actuales turberas; es decir, una sustancia coloidal homogénea, constituida por los productos de descomposición química o microbiana de los tejidos y residuos vegetales, formando un gel irreversible o sea que, una vez seco, no tiene ya tendencia a absorber agua ni siquiera es soluble en ella, en el alcohol o en el éter.

La perfección, cada día mayor, de los medios de observación ha permitido descubrir en el vitreno (tal como antes quedó defini-

do) algunas partes provistas de una estructura vegetal muy difusa y difícil de percibir si no se emplean medios de ataque adecuados y otras en las que no existe realmente ningún indicio de estructura. Esto ha obligado a distinguir un *xilovitreño* o *provitreño* y un *euvitreño* o verdadera masa fundamental.

B) *Cuerpos organizados*

Entre los cuerpos existentes en el carbón, con una estructura fácilmente identificable, tenemos:

- a) Las exinas de las esporas.
- b) Las cutículas de las hojas.
- c) Cuerpos resinosos.
- d) Fragmentos de tejido leñoso.
- e) Algas.
- f) Bacterias.

En general, la celulosa y la lignina de los tejidos vasculares y esclerenquimatosos son las partes más vulnerables a la descomposición y su estructura ha desaparecido, salvo en algunos fragmentos excepcionalmente protegidos por circunstancias especiales. Únicamente las esporas, el polen, las cutículas, los cuerpos resinosos y las algas han podido resistir, mejor o peor, a la acción destructora de las fermentaciones y de la oxidación debido, con toda seguridad, a su propia composición química, rica en sustancias grasas céricas o resinosas, generalmente inertes a la oxidación y a la acción de los disolventes naturales.

a) *Las exinas de las esporas.*

Su abundancia es extraordinaria en el *dureño* y muy especialmente en el *channel coal*, constituido casi exclusivamente por esporas.

Las esporas son las células reproductoras de las plantas criptógamas, especialmente las talofitas, las pteridofitas, las equisetales y las filicales. Las *microsporas* son las células masculinas de

las criptógamas heterosporiaceas, especialmente sigilaria y lepidodendron, las esporas únicas de las criptógamas insosporiaceas (helechos) y podemos aun considerar incluido entre estos cuerpos figurados al polen de las gimnospermas hulleras (cordaites). Son de muy pequeñas dimensiones (de 15 a 70 micras y su forma es aproximadamente esférica, apuntada en forma de tetraedro.

Las *macrosporas* o células femeninas, de mucho mayor tamaño, pueden alcanzar diámetros de 0,5 a 3 mm.

Las *micro* y *macrosporas* se forman en los esporangios, que constan de una zona cortical, varias capas de células y una capa de células madres. Se agrupan formando soros.

Las esporas constan, exteriormente, de una envoltura espesa y resistente llamada *exina* o *exospora*, estudiada químicamente por Zetzsche^{6, 7} y⁸ y colaboradores quienes designaron con el nombre de *esporopolenina* a la substancia que forma dicha envoltura. Interiormente, están tapizadas por una pared celulósica o *endospora* que, en los carbones, ha desaparecido quedando únicamente la más exterior cutinizada.

La *esporopolenina* da, por destilación, hidrocarburos y su proporción influye sobre el rendimiento en alquitrán de los carbones.

Las *exinas* de los carbones han sufrido una deformación, por aplastamiento, paralelamente al plano de estratificación y presentan, en un corte perpendicular a éste, una forma de saco frecuentemente plegado formando una Y por abatimiento del ápice llegando a ponerse casi en contacto las caras superior e inferior. En sección horizontal, presentan una forma más o menos circular o anular.

b) *Las cutículas* son tejidos de defensa contra la intemperie que recubren la epidermis de los vegetales impermeabilizándolos contra el agua y los gases. Ordinariamente, forma una sola capa en la superficie de los tallos y de las hojas, generalmente más espesa en el haz que en el envés, con pequeñas penetraciones en los espacios intercelulares de la capa subyacente por lo que las cutículas ofrecen casi siempre, en los carbones, un aspecto más o menos dentado en su parte cóncava.

Se encuentran siempre paralelas al plano de estratificación y,



en corte vertical, se aprecian frecuentemente las concavidades contrarias de la cutícula superior o inferior o el borde soldado de las mismas, aunque también es corriente observar trozos aislados. Su espesor es del orden de 0,05 mm. y su longitud puede alcanzar varios centímetros.

Legg y Wheeler⁹ han analizado cutículas actuales, de pita encontrando: Cutina 55 por ciento; cera 15 por ciento y soluble en agua 10 por ciento. En cambio, en las cutículas fósiles, no encontraron más que cutina y cera.

La cutina de las plantas actuales es un cuerpo graso compuesto de éteres del ácido subérico y de otros ácidos grasos superiores. Según Zetzsche, la cutina procede de ácidos-alcoholes grasos, no saturados, de las series C₁₈ a C₂₆, en que dichos ácidos grasos presentan formas lactónicas polimerizadas.

Ofrece grandes analogías con la suberina, existiendo formas intermedias que hacen muy difícil precisar si una pared está cutinizada o suberinizada.

Naturalmente, no es cosa fácil el aislamiento de tales cutículas fósiles y solo tiene un valor de aproximación cuanto se sabe acerca de su composición; pero parece indiscutible que contribuyen grandemente al rendimiento en alquitrán.

La resistencia de las cutículas a la descomposición es algo menor que la de las esporas y superior a la de las algas.

c) Los *cuerpos resinosos* son materias amorfas coloreadas que se endurecen al aire y se encuentran en casi todos los carbones, particularmente en el vitreno, en muy diversas formas: películas, tallos, capas hasta de 25 mm. de espesor, etc.

Algunos trozos de cordaites son muy ricos en resina. La de las coníferas es algo más clara, según Gothan.

Los lignitos son, generalmente, más ricos en resinas que las hullas. En el fuseno, se encuentran en el parenquina que rellena las células y Jurasky lo ha encontrado en el fuseno del lignito formando esférulas.

Las resinas fósiles son designadas con el nombre genérico de *ambar*; pero comprende diversas clases diferenciables por sus propiedades químicas. Son imputrescibles, por las esencias y subs-

tancias resinosas que contienen y se caracterizan por una fluorescencia azulada a la lámpara de cuarzo.

Hasta ahora, no se ha encontrado que desempeñen un papel esencial en las propiedades de los carbones.

d)) *Los fragmentos de tejidos leñosos* están formados por células esclerenquimatosas y células lignificadas que constituyen los vasos por los que circula la savia, sirviendo al mismo tiempo de protección y sostén a la planta.

Mejor o peor conservados y en mayor o menor cantidad, se encuentran o pueden encontrarse en toda clase de carbones.

El fuseno está formado por tejidos, en general bien conservados, en que la materia de relleno de las células es pulverulenta y, en tal caso, suele presentarse en masas más o menos lenticulares. (Fig. 4). Algunas veces el relleno celular está formado por una sustancia brillante y compacta, análoga a la que hemos definido como masa fundamental formando, entonces, el llamado *x i l e n o*. Una modificación más profunda hace apenas perceptible la separación entre la pared celular y la sustancia de relleno como si la estructura celular hubiese participado en la gelificación general, sin previa solución y conservando los contornos primitivos, en una especie de pseudomorfosis, designándose entonces con el nombre de *x i l o v i t r e n o*.

Estos tejidos leñosos, formando masas laminares o lenticulares de fuseno, se encuentran muy irregularmente distribuidas en toda clase de carbones. Por efecto de la presión, aunque quizá concurren otras circunstancias, las células del tejido leñoso presentan en algunos carbones no la forma más o menos redondeada que les es habitual sino una forma estrellada, con líneas arqueadas, a lo que Stach ha llamado *B o g e n s t r u k t u r*.

Por destilación, dan muy poco rendimiento en materias volátiles. Su análisis acusa un mayor contenido en carbono, más bajo en hidrógeno y muy elevado en cenizas. El fuseno es un componente indeseable por la fragilidad que comunica al carbón, por su tendencia a la formación de polvo fino, capaz de originar explosiones y porque no coquiza y entorpece la coquización.

e) *Las algas*, plantas acuáticas existentes en todos los mares y

lagos actuales, han originado, por su intensa proliferación, depósitos importantes hasta llegar a llenarlos de una densa flora subacuática, como en los grandes lagos del norte de Alemania.

Su descomposición origina un gel ó g e l o s a y, según Chodat, el protoplasma que rellena las células segrega un aceite residual.

Al gel actual existente en los lagos, como el que llena uno, cerca de Stettin, Potonié lo ha designado con el nombre de s a p r o - p e l i o.

Al fosilizarse, el sapropelio se endurece adquiriendo una consistencia elástica y recibe, entonces, el nombre de s a p r o c o l a. La gelosa, que sirve de substrato a las células, persiste y es perceptible en las preparaciones mientras que los albuminoides se destruyen. El aceite se resinifica y, al oxidarse, se endurece.

Por comparación de las algas actuales con las algas fósiles, se ha encontrado explicación a la formación de los carbones llamados b o g h e a d compactos, sonoros al golpe de martillo, de fractura concoidal, que contienen de 60 a 70 por 100 de materias volátiles.

David, Bertran y Renault han descrito con el nombre de p i l a las algas fósiles del boghead de Autun. Zalesky, estudiando los geles de las algas actuales de Rusia y de Siberia, dedujo que la pila permiana está formada por b o t r y o c o c c u s muy corrientes en la actualidad.

En la c o o r o n g i t a formada por algas fósiles del boghead de Australia ha identificado Thiessen algas pertenecientes al género R e i n s c h i a que, según P. Bertrand, pertenecen a las v o l - v o c á c e a s.

Las bacterias han sido encontradas en los tallos de las plantas carboníferas por Tieghem, en 1879. Renault confirmó su existencia que fué negada por Potonié.

Moret¹⁰ confirmó también su presencia identificando en los tejidos parenquimatosos de las plantas hulleras del carbonífero inferior el *Micrococcus Guignardi*, el *M. hymenophagus* y *Bacillus anthracis*.

Según White y Thiessen, se encuentran tanto en la turba superficial como en los medios más profundos y de mayor evolución

lo que permite suponer que habrán tenido alguna intervención en la formación de los carbones.

Existen, por último en los carbones *materias minerales*, generalmente muy dispersas en la masa del combustible, constituyendo las cenizas.

En algunos carbones, se observan interestratificaciones de capas arcillosas o de areniscas más o menos gruesas y continuas.

En los carbones formados en aguas muy mineralizadas, se han debido recubrir las plantas de una costra generalmente carbonatada y hasta producirse concreciones calcáreas, magnesianas o ferruginosas formándose una especie de migraciones minerales o diagénesis.

En las antracitas muy mylonitizadas del carbonífero alpino, se encuentran depósitos de cuarzo o de calcita en la red de fracturas, desde la falla de varios centímetros de espesor hasta las más pequeñas diaclasas submicroscópicas.

Preparación de macrósporas

Antecedentes

Los primeros ensayos de aislamiento y separación de componentes microscópicos del carbón fueron hechos por Greppert en 1836, por combustión parcial del carbón e investigación de las cenizas.

El verdadero descubridor del procedimiento de maceración del carbón, fué Franz Schulze, de Rostock quien, en 1885, publicó un corto trabajo, de apenas tres páginas, sin pretensiones, al cual se han referido y seguirán refiriéndose constantemente cuantos se ocupan de esta cuestión. Establece en él un tratamiento químico de pequeños fragmentos de carbón, conocido como «disolución de Schultze» que consiste en una oxidación por mezclas de ácido nítrico y clorato potásico.

Desde entonces, la mezcla de Schulze se hizo de uso general, incluso para estudios de Paleontología y de Botánica actual.

Muy recientemente se ha introducido el uso de un nuevo método de maceración: el de Zetzsche.

Fundamentos del procedimiento de maceración

La maceración tiene por objeto separar los cuerpos bituminosos de los geles coloidales que los rodean. Estos coloides, producto de la carbonización de elementos de naturaleza celulósica y de lignina, del material original de las plantas, son más fácilmente oxidables que las sustancias bituminosas.

Esta diferencia de comportamiento entre las llamadas humina y bitumina, hace posible una cuidadosa oxidación que ataca completamente a la humina (masa fundamental) pero no a la bitumina. Rigurosamente, no hay ningún oxidante que ataque exclusivamente a los coloides húmicos y para disminuir el desgaste de las materias bituminosas, en este caso las esporas, se halogena el carbón, con lo que el halógeno se fija en los dobles enlaces disminuyendo su capacidad de tomar oxígeno. Este principio fué utilizado, sin darse cuenta aun, por Schulze, al añadir clorato potásico en su procedimiento. En la mezcla de Schulze se produce cloro naciente que provoca una cloración del carbón.

En el método de Zetzsche, se produce intencionadamente una halogenación, mediante una adición de bromo, antes de que el propio proceso de la maceración avance.

Estado en que se encuentran las esporas

El proceso de maceración está sujeto a ciertas limitaciones, particularmente con respecto al estado en que se encuentran las esporas.

En primer lugar, la resistencia de éstas a la carbonización es limitada, ya que, durante la formación de las capas de carbón, la bitumina es afectada, aunque en menor proporción que la humina, por el proceso mismo de la carbonización consistente en pérdida de oxígeno y especialmente de hidrógeno; pero, al fin, experimentan también su pérdida de hidrógeno y un cierto grado de carbonización.

Según Zerndt, se pueden aislar las megasporas, aun en buen estado en carbones que tengan, por lo menos, 25 por 100 de materias volátiles. Dijkstra lo confirma, pero con algunas excepciones.

Para las micrósporas, el límite, según Raistrick, estaría en el 15 por 100 de materias volátiles, límite que ha sido confirmado por Bode.

Los carbones fuertemente carbonizados presentan frecuentemente bandas de megasporas cruzadas por cortes transversales de curso irregular.

Probablemente, el estado de conservación de las macrósporas y su macerabilidad dependen mucho del contenido en azufre del carbón. Según Kirchheimer, un alto contenido en azufre hace que el bitumen sea más fácilmente atacable por el oxígeno y que la cutícula de la espora sea menos elástica.

El método Schulze

En este procedimiento, 10 gramos de carbón, en trozos de 3 a 5 mm. se mezclan con una cantidad igual de clorato potásico. El conjunto se deja uno o dos días con, aproximadamente, tres veces su peso de ácido nítrico concentrado. El carbón queda, así, sometido a sucesivas acciones oxidantes: O_2 , Cl_2 , ClO_3H , ClO_2 , oxígeno naciente y cloro naciente, siendo estos dos últimos los más especialmente activos.

Los productos de la oxidación de la humina, los ácidos húmicos que se forman por este proceso, son solubles en lejía alcalina y, para eliminarlos, se tratan durante un día, o más, con KOH o NaOH al 10 por 100. Los cuerpos bituminosos pueden aislarse, entonces, por lavado con agua sobre un tamiz fino, de 0,1 mm. de anchura de malla y, finalmente, se secan. En atención a las circunstancias, se han ido introduciendo en este método algunas modificaciones.

En primer lugar, suele suceder que queda un residuo difícilmente macerable que es preciso descomponer por sucesivos tratamientos, en cuyo caso se trabaja escalonadamente. A veces, se hace algún tratamiento previo, como hervir con ácido sulfúrico concentrado (Gümbel), dos o tres tratamientos con lejía de potasa saturada y caliente (Thomas), algunos días de ablandamiento en piridina (Raistrick) o calentamiento con una disolución alcohólica de KOH al 10 por 100 (Skilling).

La concentración del ácido nítrico debe oscilar entre un 52 por 100 (p. e. 1,33) y un 85 por 100 (p. e. 1,47).

En los carbones difícilmente macerables, el ataque debe durar una semana o más, con sucesivas adiciones de ácido nítrico, según Thiessen, y tanto este autor como Lange y como Shimakura calientan con mucho cuidado después de varios días de tratamiento, lo que ofrece un cierto peligro.

Para la disolución del ácido húmico, suele usarse KOH al 10 por 100; pero tanto Ibrahim como Loose emplean una concentración del 5 por 100; es decir casi normal. Otros investigadores han empleado amoníaco a concentraciones variables desde el 10 al 25 por 100. Dura aproximadamente un día y calentando se puede abreviar. Las macrosporas ya aisladas pueden lavarse con ácido nítrico diluído.

El método de Zetzsche

Zetzsche y Kälin publicaron en 1932 un método para aislar bitúmenes polímeros (membranas de esporas, cutículas, et.) del carbón. Este método que fué concebido con el propósito de aislar *substancias* bituminosas, fué empleado por Zerndt, en 1934, como método de maceración para la preparación de *cuerpos bituminosos*, no destruidos, de las esporas. Este método, publicado en 1936, por Sahabi, colaborador de Zerndt, consiste en lo siguiente: El carbón, después de molido, se tamiza tomándose los tamaños comprendidos entre 2 y 5 mm.

10 gramos del mismo se ponen en un matraz de litro, con tapón esmerilado, se añaden de 3 a 4 c. c. de bromo y se tapa. Se agita y se deja en reposo de 3 a 4 horas, agitando de cuando en cuando. Se añaden luego de 150 a 250 c. c. de ácido nítrico fumante (p. e. 1,52), en pequeñas cantidades y agitando, bajo constante refrigeración del matraz, bien por introducción en hielo machacado o en agua enfriada con hielo. La cantidad necesaria de ácido nítrico aumenta con el grado de carbonización, así como la duración de la maceración, cuyo final se conoce en que, al agitar, no queda adherida a las paredes ninguna partícula gruesa. Después de

cuatro, hasta doce y más horas, según la clase de carbón, se diluye el contenido introduciendo en el matraz hielo finamente machacado; finalmente, se añade agua fría hasta llenarlo. Durante todo este tiempo, el matraz debe permanecer en hielo o en agua helada y debe agitarse de vez en cuando.

Se decanta luego sobre un tamiz de gasa, bajo un constante chorro de agua, hasta que esta pase clara. Se seca entonces el residuo que queda en el tamiz, a 50° y se investigan las esporas.

Se necesitan guantes de goma y también es aconsejable una careta contra gases.

Gracias a la alta resistencia de la membrana de las esporas, después de bromada, puede emplearse ácido nítrico fumante que tiene la ventaja de disolver los productos de oxidación de las huminas con lo que se evita el tratamiento posterior con lejía alcalina, aunque éste pueda ser también útil.

La acción del bromo es doble ya que se fija por adición y por sustitución. En esta última forma deja hidrógeno en libertad que da con el exceso de bromo, ácido bromhídrico que se observa en forma de vapor blanco. A poco de añadir el bromo, se desprende tanto BrH que, por presión, puede hacer saltar el tapón de vidrio y, para evitarlo, se suele emplear una caja metálica, con capacidad para doce matraces, en la cual se sujeta a rosca el tapón.

Sahabi aconseja que se seque el matraz con arena antes de bromar porque la presencia de agua impide la acción oxidante parcial del bromo sobre el carbón. También debe cuidarse que la bromación se haga en el ambiente más frío posible para que la proporción entre la adición y la sustitución sea la más conveniente.

Solo este procedimiento, con bromo y ácido nítrico fumante permite asegurar un recuento de las macrósporas y obtenerlas en mejor estado, sin partículas adheridas, siendo la maceración más completa que por el método de Schulze. Se obtiene mucho menor cantidad de macerado, la concentración de esporas es por tanto mayor y más fácil la observación.

*Tipos de esporas*¹¹

Se distinguen seis géneros de esporas:

- 1.—Triletes.
- 2.—Cystosporites.
- 3.—Monoletes.
- 4.—Esporas de calamariaceas.
- 5.—Microsporites.
- 6.—Micrósporas en su esporangio.

El género más importante y más variado en especies características es el *Triletes*. Presentan simetría radial y se caracterizan por tres líneas de sutura que parten del centro de la cara proximal, formando arcos que van hasta la cara distal, limitando las superficies de contacto entre las esporas hermanas que han formado una tetrada. La cara distal es plana. Su genotipo es el *T. glabatus* (Zerndt).

El género *Triletes* se divide en cuatro secciones:

- A.—*Aphanozonati*.
- B.—*Zonales*.
- C.—*Lagenicula*.
- D.—*Triangulati*.

Las *Aphanozonati* son grandes, redondas u ovals, sin apéndices zonales, con crestas arqueadas generalmente presentes, sin fuerte elevación apical, que abarca aproximadamente la mitad del hemisferio proximal. Son de membrana gruesa y a veces fuertemente punteada. (Fig. 5).

Las *Zonales* de tamaño mediano o grande, se caracterizan por un anillo o collar ecuatorial que, en algunos casos, esta formado por una especie de fleco anastomosado constituido por exosporas o por perisporas. (Fig. 6).

Las *Lageniculas* son de tamaño medio, de forma aplastada, parte apical destacada, con crestas arqueadas y carecen de collar ecuatorial. (Fig. 7).

Las *Triangulati*, de tamaño mediano o algo menor, se caracterizan por un collar ecuatorial prolongado en sentido radial, en for-

ma de triángulo de tipo membranoso y delgado, como la propia pared de la espora. Sus crestas arqueadas llegan hasta la zona equatorial. (Fig. 8).

Las *Cistosporites* ó megasporas-semillas ofrecen una simetría radial muy imprecisa. Las formas fértiles son muy grandes, en forma de saco. Las crestas arqueadas típicas de los Triletes son aquí muy pequeñas. La pared es más gruesa en los bordes y translúcida en la parte media. Las formas abortivas son ovales ó alargadas. Algunas permanecen unidas a las fértiles de la misma tetrada. La parte apical, característica de los Triletes, suele estar cubierta por una masa de películas. La membrana es gruesa y de carácter fibroso, poco marcado. (Fig. 9).

Las *Monoletes* están formados por polen ó esporas de distintas clases. Schopf les ha dado el nombre de prepolem. Son de forma oval bilateral, su tamaño varía entre 20 y 700 micras; son de color claro amarillento y presentan dos surcos, en forma de arco, paralelos al borde de la cara distal, y un surco rectilíneo, en el centro de la cara proximal que, a los extremos, se bifurca en forma de V. (Fig. 10).

Las esporas de *Calamariaceas* son redondas con un aplastamiento oval. Su pared es muy delgada, de color pardo rojizo, lisa, translúcida, brillante y carente de relieves y está fuertemente plegada. Presentan imagen triradial, pero casi siempre sin crestas en arco. (Fig. 11).

Las *Microsporites* son de pequeño tamaño (0,1 á 0,15 mm.), de forma redondeada, con collar generalmente triangular. Del centro de la espora divergen líneas arqueadas poco visibles. El cuerpo de la espora es pardo amarillo y el collar amarillo. (Fig. 12).

Las *Microsporas en esporangio* son generalmente de forma oval. El tamaño del esporangio es del orden de un milímetro. Fig. 13).

Para la identificación de las capas de carbón, solamente se utilizan unos veinte tipos. Se recuenta el porcentaje de cada uno de ellos y este porcentaje es característico de cada capa.

Termonología petrográfica comparada

El perfeccionamiento, cada vez mayor, de los medios de observación microscópica ha creado una terminología que ha adquirido en los últimos años bastante complicación y que fácilmente induce a confusiones.

Thiessen ¹² y con él todos los investigadores americanos tuvieron que renunciar a su simplificada nomenclatura, empleada hasta 1937, que se reducía a la distinción entre anthraxylon, attritus y mineral charcoal.

Empezando por reconocer una primera diferenciación entre carbones listados y no listados, hubieron de clasificar los primeros en *bright coals*, *semisplint coals* y *splint coals*, subdividiendo los primeros en cinco grupos: 1.—Carbón listado brillante típico, 2.—Carbón rico en esporas, 3.—Carbón resinoso; 4.—Carbón rico en cutículas (*paper coal*) 5.—Carbón de cortezas (*bask coals*).

En Europa, ha persistido la clasificación inicial de Stopes; pero con numerosas variaciones.

Los autores alemanes, con excepción Kühlweinn, han prescindido del clareno.

En Holanda, Jongmans y Koopmans ¹³, prescindiendo también del clareno, establecen un nuevo grupo: el *teleno* (*Telit*) caracterizado por fragmentos celulares, impregnados de vitreno cuyo material rellena los espacios celulares, y adoptan nombres compuestos para distinguir los distintos tipos de transición.

En Inglaterra, Stopes ¹⁴, propone el nombre genérico de *macerales* para designar los distintos elementos figurados que pueden distinguirse en los carbones, reservando los tipos petrográficos hasta entonces usados para referirlos a los *tipos de roca* ó componentes macroscópicos. Cady ¹⁵ ha propuesto como complemento ó sustitución al nombre de macerales el de *fiterales* para designar a todas las formas vegetales fósiles. Habiendo sido universalmente objetada la definición del vitreno como «componente brillante desprovisto de estructura,» por haberse encontrado en este componente partes con estructuras más o menos difusas, hace Stopes una división del mismo en *euvitreno* y *provitreno* y el primero lo sub-

divide en *ulmeno* (*ulmain*), definido como «materia vegetal completamente gelificada que puede limitar en trozos parcialmente gelificados» y en *coleno* (*collain*), definido como «compuestos úlmicos precipitados de una solución» o sea lo que Duparque¹⁶ y Potonié¹⁷ han llamado «gel de redeposición.»

Entre los macerales, distingue Stopes *vitritina*, *fusinita*, *xylinita*, *exinita*, *cutinita*, *micronita*, (resíduos) y *suberinita*.

Esta modificación de la nomenclatura supone divorciar la sustancia de la forma.

Con el propósito de coordinar y definir esta copiosa terminología, fué sometido este tema a las deliberaciones del Segundo Congreso de Estratigrafía del Carbonífero, celebrado en Heerlen en 1935, siendo discutido por una ponencia en las que estaban representadas Inglaterra, Alemania, Austria y Holanda. En los acuerdos, redactados por Seyler y recogidos por Jongmans, Koopmans y Roos¹⁸ se adoptaron como nombres correspondientes a los tipos de roca (*Streifenarten*, en alemán) los que ya estaban en uso en los distintos países, incluyendo el clareno.

Para los elementos micro-petrográficos, se adoptó el término *macerales* propuesto por Stopes o su equivalente alemán *Mazeralien*, con la alternativa de *Gefügebstandteile*.

Los nombres particulares propuestos por Stopes para los distintos macerales fueron aceptados; pero se consideró preferible utilizar los de *colinita* y *telinita* (en vez de *euvitritina* y *provitritina*) y distinguir las distintas telinitas según su origen botánico, tal como *xylinita*, *perilibnita*, *suberinita*, etc.

Se adoptó también el nombre de *ulminita* para designar la vitritina desprovista de estructura. Se conservó el de *fusinita* como maceral del fuseno; pero se consideró necesario introducir el de *semi-fusinita* para indicar un material intermedio entre la fusinita y la vitritina.

Los nombres de *resinita* y *exinita* se conservaron con su conocido significado, pero la *cutinita* y *esporinita*, aunque aprobados se consideraron de uso innecesario por estar incluidas en la *exinita*.

En vez de la palabra *micronita*, que designa el residuum opaco

del dureno, se adoptó la forma *micrinita* por analogía terminal con los demás macerales.

Hoffman¹⁹ ha resumido las designaciones de los macerales y las que, para tipos de roca, se utilizan en distintos países, en un sencillo cuadro que transcribimos:

BIBLIOGRAFIA

- (1) FAYOL.—Bull. Soc. Ind. Min.—Vol. 2-XV—p. 546 (1887).
- (2) M. STOPES.—Proc. Roy. Soc. (B)—Vol. 90—p. 470-485 (1919).
- (3) R. THIESSEN.—Journ. of Geol.—Vol. XXVIII—p. 183-209 (1920).
- (4) KENDALL.—The Physiography of the Coal Swamps.—90.^a Reunión B. A. Adv. Sci.—p. 71-78 (1922).
- (5) MOORE.—«Coal».—John Wiley & Sons—New York—p. 10 (1940).
- (6) ZETZSCHE y HUGGLER.—Untersuchungen über die Membran de Sporen und Pollen-I.—Ann. Chem.—p. 89-108 (1928).
- (7) ZETZSCHE y VICARI.—Untersuchungen über die Membran der Sporen und Pollen-II—Helvetica Chimica Acta—Vol. 14—p. 58-62 (1931).
- (8) ZETZSCHE y VICARI.—Fossiles Sporopollenin aus dem Tasmanit und der moskauer Braunkohle—Helvetica Chimica Acta—Vol. 14—p. 67-78 (1931).
- (9) LEGG y WHEELER.—Plant cuticles—J. Chem. Soc.—p. 2.444 (1929).
- (10) L. MORET.—«Manuel de Paléontologie végétale»—Masson—Paris (1943).
- (11) DIJKSTRA y van VIERSSEN TRIP.—Mededeelingen van de Geologische Stichting—Serie C—III-1—Vol. 1—p. 26-65 (1946).
- (12) R. THIESSEN.—Pro. Fuel Eng. Conf. Fuel Eng. Div. Appalachian Coals Inc.—Vol 4—p. 211-272 (1937).
- (13) JONGMANS y KOOPMANS.—Geol. Bur. Heerlen Yearbook—p. 49-63 (1934).
- (14) M. STOPES.—Fuel—Vol 14—p. 4-13 (1935)
- (15) G. CADY.—«Chemistry of Coal Utilization»—Lowry Edit.—John Wiley—London—Vol. I—p. 98 (1945).
- (16) A. DUPARQUE.—Ann. Soc. Geol. Nord.—Vol 51—p. 51-64 (1926).
- (17) R. POTONIE.—Deut. Geol. Ges.—Vol 78—p. 348-380 (1926).
- (18) W. J. JONMANS, R. G. KOOPMANS y G. ROOS.—Compt. Rend. Deuxième Congr. l' avance Etudes Strat. Carbonifère, Heerlen (1935).
- (19) E. HOFFMANN.—Comt. Rend. Deuxième Congr. l' Avance Etudes Strat. Carbonifère, Heerlen, (1935).

ORIGEN Y FORMACION DEL CARBON

POR

LUCAS RODRIGUEZ PIRE

Catedrático de la Química Técnica de la Universidad de Oviedo

Importancia industrial del carbón

Desde que el estudio microscopio de los carbones hizo evidente el origen vegetal de los mismos, quedó planteado el problema de explicar el proceso por el cual la primitiva materia vegetal llegó a transformarse en carbón y el por qué de la variedad de tipos de carbón que se conocen.

La primitiva clasificación en turba, lignito, hulla y antracita, basada en caracteres externos, fácilmente reconocibles en una estructura vegetal, cada vez más difícil de identificar, y en un creciente contenido en carbono, parece marcar jalones de un mismo proceso de transformación: *la Carbonización*. Esta primitiva intuición, que ha sido objeto, y sigue siéndolo, de una copiosísima discusión, tiene, aun hoy, carácter de vigencia.

Parece pues lógico que comencemos este estudio examinando las condiciones en que se ha formado la turba, y sigue formándose aun en nuestros días.

*Las turberas*¹

La turba (según definición de Haug) es una materia carbonosa que resulta de la fermentación, en el propio lugar, de vegetales

que forman praderas húmedas conocidas con el nombre de turberas.

La materia vegetal de las distintas plantas no alcanza el mismo grado de transformación. Las fibras poco alteradas forman una especie de fieltro cuyos intersticios se rellenan, en parte, con el producto de la transformación más completa de otras partes vegetales, en forma de substancia pulverulenta muy oscura, constituida por derivados húmicos. Estos productos ácidos dan a la turba propiedades asépticas y son los que colorean en pardo oscuro a las aguas que atraviesan regiones turbosas.

El contenido en carbono de la turba varía de 45 a 60 por ciento, aproximadamente.

Los vegetales que principalmente constituyen la turba son ó esencialmente hidrófilos, capaces de almacenar en sus tejidos cantidades considerables de agua ó xerófilos, en cuyo caso su pie se encuentra sumergido en el agua.

Unos y otros se desarrollan en altura mientras sus partes inferiores mueren y se descomponen.

Para que pueda formarse la turba, es preciso que el agua no esté excesivamente estancada, ni su corriente sea excesiva. Esto último ocasionaría arrastre de las substancias antisépticas que preservan a los vegetales de una descomposición excesivamente rápida. Su temperatura más conveniente es de unos 8.º C. Una temperatura excesivamente alta impediría la absorción de agua por los musgos hidrófilos. Por ésto, las turberas suelen encontrarse solamente entre los paralelos 43.º y 70.º.

Suelen presentarse formando una superficie encharcada en que la turba se encuentra a más o menos profundidad.

Existe un tipo de *turbera plana* (Flachmoor, flat bog) ó turbera pantanosa, formada por plantas acuáticas (juncos, etc,) cuya descomposición debajo del agua forma la turba.

Hay otro tipo de *turbera combada* (Hochmoor, raised bog) ó turberas de montaña en las que, sobre un suelo más seco y generalmente silicioso, se encuentran musgos de tallo largo (género Sphagnum) que forman un tupido tapiz empapado de agua.

Las turberas pueden transformarse en páramos y recíproca-

mente, según que las condiciones sean más o menos desfavorables. A su vez, el páramo se deriva del bosque cuando éste agota las reservas de ácido fosfórico y de cal.

Así vemos que en países fríos como Dinamarca, Suecia y Siberia meridional, los bosques van siendo sustituidos por turberas. Por otra parte, es posible reconquistar, para el cultivo, a las turberas naturales. Se han colonizado turberas, por ejemplo, en Holanda y en el norte de Alemania mediante un drenaje y aportación de elementos minerales.

En las turberas de los valles, las plantas predominantes son ciperáceas y gramíneas xerófilas; sus rizomas entretejidos se sumergen en una especie de humus; en la superficie, flotan musgos del género *Hipnum*.

Por el contrario, las turberas de las planicies y de las laderas, están constituidas especialmente por musgos hidrófilos que mantienen la humedad de la turbera sin que ésta esté sumergida. Las turberas de este tipo crecen constantemente en altura, acabando por elevarse sobre los terrenos que las rodean y su superficie toma una forma convexa de casquete. Suelen encontrarse en lugares en que primitivamente existió una turbera sumergida.

En la turba más superficial y de reciente formación, se conserva visible la estructura de los residuos vegetales, distinguiéndose en ella ramitas entrelazadas (turba musgosa) mientras que en las partes más profundas, de más antigua formación, se encuentran ramas más gruesas o troncos en medio de una materia compacta, de color oscuro (turba negra o piciforme) que se ha hecho más compacta bajo el peso de las capas superiores.

Así pues, de arriba abajo, se encuentran sucesivamente:

- a) turba musgosa, ligera, esponjosa, de color amarillo más o menos oscuro.
- b) turba hojosa, de color chocolate, en que aun se distinguen las plantas que la formaron.
- c) turba negra.

Entre las capas b) y c), se encuentran a veces trocitos de cor-

teza, de tronco o de ramas de abedul que conservan su estructura y aun troncos de roble bien conservados.

En las turberas sumergidas, la formación de turba suele ser constante; pero en las turberas de montaña, suele detenerse al cabo de mucho tiempo encontrándose una verdadera turba fósil, como en algunas regiones del Limousin en las que, según Vazeille, comenzó a formarse la turba al principio de la época neolítica o quizá antes. Los bosques que, entonces, poblaban los pequeños valles tallados por los glaciares, fueron invadidos poco a poco por turberas y sus árboles perecieron por falta de aire alrededor de las raíces.

Estas turberas de los valles son generalmente de pequeña extensión y formadas por especies vegetales muy limitadas.

En cambio, las de las planicies pueden alcanzar extensiones muy considerables sobre todo si se encuentran sobre suelos nivelados por glaciares y tapizados de lodo glaciar en el que las plantas han podido proliferar. En Babiera y en Sajonia, este tipo de turberas alcanza extensiones de varios miles de hectáreas sin más vegetación original que musgos, plantas acuáticas y helechos. También en los Estados Unidos y en Canadá, los grandes glaciares recubrieron el suelo con una masa de arcilla, gravas y cantos rodados, que rellenaron los valles, dejando algunas depresiones en las que se formaron lagos, que quedaron convertidos en turberas, cuando las condiciones climáticas fueron adecuadas.

Existen también turberas de tipo marítimo, en las que se encuentran restos de plantas terrestres y de algas, que se formaron al abrigo de una barra de cantos rodados. En el litoral de Europa, suelen encontrarse a unos ocho o nueve metros por debajo del nivel del mar.

En estas turberas, según Maack, se desarrollaron primeramente plantas acuáticas cuyas hojas formaron en la superficie un continuo tapiz sobre el cual se fijó una capa de musgos, cada vez más espesa, revestida de *Vaccinium oxycoccus*. Al descender luego de nivel, por drenaje o por alguna otra causa, pudieron recubrirse de una delgada capa de agua estancada en la que se desarrollaron plantas herbáceas de tipo ácido que en otoño e invierno se des-

componen con formación de ácidos húmicos, naciendo en primavera y verano nuevas plantas, prosiguiéndose dicho ritmo.

Teorías acerca de la acumulación de la materia vegetal²

Si comparamos las grandes cantidades conocidas de carbón con la masa mucho mayor aun de la materia vegetal que ha sido necesaria para formarlo y contemplamos, por otra parte, la pobre vegetación existente sobre las turberas actuales; si consideramos, además, la gran extensión y superposición reiterada de gruesos filones de hulla, separados por imponentes masas de rocas sedimentarias, surge inmediatamente la cuestión de la forma en que ha sido posible la acumulación, en determinados lugares, de tan enorme cantidad de masas vegetales, ya que el carbón actual es solo un 10 por ciento del peso de la materia vegetal que lo originó.

Dos teorías han ido acumulando argumentos en que apoyar sus respectivos puntos de vista para explicar la formación de tales depósitos. Según una de ellas, la más antigua, las plantas se fueron acumulando en el lugar mismo en que se han desarrollado. Según la otra, las materias vegetales han sido transportadas y acumuladas mediante un arrastre por el agua.

El origen de la materia vegetal sería pues *autóctono* o *alóctono* respectivamente, según los nombres con que han sido designados por von Gumbel.³

Teoría del origen autóctono

Según esta teoría, establecida en 1778 por Beroldingen⁴, en Alemania e independientemente por Deluc⁵, en Francia, al siguiente año, el carbón se formó con los residuos de las plantas acumuladas en turberas pantanosas y fueron recubiertos después por sedimentos, experimentando posteriormente cambios que produjeron la variedad actual de carbones, desde la turba a las antracitas.

Esta teoría está basada en los principales argumentos siguientes:

1.—El contenido, generalmente bajo, en materias minerales de los carbones parece incompatible con un transporte en gran esca-

la de las materias vegetales, las cuales serían acompañadas forzosamente por cantidades aun mayores, de materias minerales⁶.

2.—La existencia de esquistos arcillosos debajo de casi todas las capas de hulla permite creer en la existencia de antiguos suelos en los que pudieron desarrollarse las plantas⁷.

3 —La amplia extensión de muchas capas de carbón solo podría desarrollarse en extensas areas de vegetación.

4.—La distribución y acondicionamiento de las partículas vegetales no es la que corresponde a un arrastre de materiales⁸.

5.—La presencia en el carbón de troncos con raíces en los esquistos arcillosos indica un crecimiento *in situ*⁹.

6—Actualmente se están formando *in situ* grandes depósitos de turba, de amplia extensión, los cuales convertidos en hulla, formarían capas de extensión, configuración y pureza comparables a las del Carbonífero¹⁰.

7—Se observa en la actualidad una lenta sumersión en los bosques de la costa de Rotterdam¹¹.

De estos argumentos, el quinto es uno de los más impresionantes. Potonié¹² se decidió por esta teoría despues de haber estudiado los testigos de un sondeo de 750 m de longitud, en la Alta Silesia, que cortaba veintisiete filones de carbón y, en cada uno, un suelo arcilloso con estigmarias, aunque seguía admitiendo el origen alóctono en casos excepcionales de antiguos meandros rellenos con maderas arrastradas en las mareas altas, como ocurre actualmente en el Bajo Mississipi.

Ha descrito también el autor ultimamente citado una turbera fósil del Mioceno, que se ha transformado en lignito, donde han crecido varias generaciones de bosques.

Esta teoría fué combatida desde su origen y a lo largo de todo el siglo XIX, por muchos geólogos, botánicos y químicos. Jukes¹³, p. ej., no encontraba satisfactoriamente explicada la discontinuidad de las rocas y la frecuente alternancia de rocas estériles y capas de carbón por lo que Hall¹⁴ hubo de introducir el concepto de *subsistencia* o descenso lento y uniforme en grandes extensiones; pero escalonado con períodos de vegetación en cada uno de estos escalones. Grim señaló que los esquistos arcillosos difieren en perfil

del de los suelos normales, objeción confirmada por Gresley¹⁵ haciendo observar la naturaleza caliza de los mismos y la ausencia de estigmarias en los esquistos hulleros de Pittsburgo y en otras varias pizarras carboníferas, etc., etc.

La teoría del *origen alóctono* tiene quizá su más remoto antecedente en las erróneas ideas de Hutton¹⁶, en 1795, quien creía formado el carbón por materia orgánica soluble y partículas de hollín de bosques incendiados, arrastradas hasta el mar por las corrientes de agua dulce.

Grand'Eury¹⁷, a quien algunos autores atribuyen el origen de esta teoría, suponía, en 1882, que las plantas se descomponían en el lugar de su crecimiento siendo arrastrados sus residuos a lugares de agua tranquila donde se sumergían; pero el verdadero fundador de esta teoría fué Fayol¹⁸ en 1887, quien considera al carbón originado por la segregación, como producto menos denso, de los residuos vegetales arrastrados con materiales terrígenos de erosión hasta deltas en la proximidad del mar o de grandes lagos, cita entre otros argumentos que dedujo de su estudio de la cuenca de Commentry, la presencia de fauna y el hallazgo de raíces en posición invertida. Fayol logró atraer a personas de gran prestigio científico como Lapparent y Renault; pero sus ideas fueron duramente combatidas, especialmente por Stevenson, autor de uno de los estudios más completos que se han hecho sobre esta cuestión, y en él señala que el agua no ejerce prácticamente una verdadera acción erosiva sobre la vegetación herbácea ó leñosa. El agua de los ríos, durante las crecidas solo erosiona cauces muy localizados, en los que deposita lodos; pero no arranca generalmente ni los troncos de los árboles ni la hierba de las praderas. Algunos ríos subesteparios, como el Mackenzie, que arrastran mayor número de árboles erosionan con ellos las riberas arrancando gran cantidad de materiales terrosos, y finalmente, o se detienen entrelazados formando grandes balsas o, salvando los deltas, llegan al mar o a grandes lagos en los que flotan a la deriva hasta que son destruídos por la intemperie y, ciertamente, en los dragados de mares y lagos no se ha encontrado nunca acumulaciones vegetales transportadas por las aguas.

En tiempos más modernos la tendencia general es a aceptar el origen autóctono de las acumulaciones vegetales, salvo casos muy particulares y circunscritos en que el origen alóctono es más evidente.

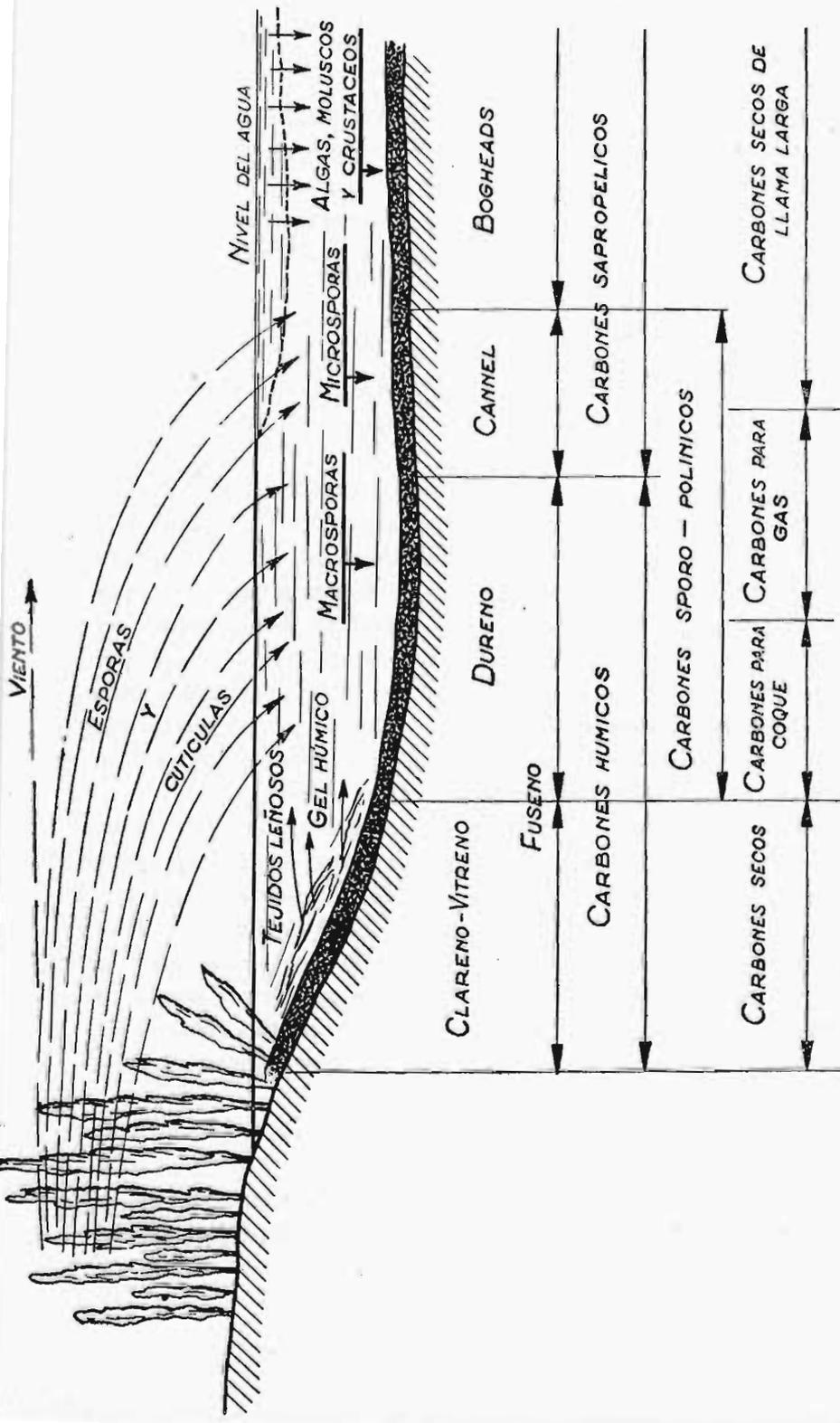
En 1928, Duparque¹⁹ observando las diferencias entre puntos horizontalmente distantes de una misma capa de hulla con respecto a sus caracteres petrográficos, propuso una nueva teoría que pudiera llamarse de la *semi-autoctonía* según la cual, en las formaciones límnicas, el suelo pantanoso de la orilla fija las raíces de las plantas superiores y formará, más tarde, el muro de areniscas y esquistos, con estigmarias; ya bajo el agua, las plantas hidrófilas y los gruesos residuos depositados con la arena formarán los esquistos de plantas fósiles.

Más al interior del lago, los depósitos terrígenos cesan y se sedimentan los residuos lignocelulósicos; más adentro, los de esporas y cutina; en la zona siguiente, las esporas solas, arrastradas muy lejos por el viento y aun por el agua formarán el *cannel* y, a mayor distancia aun, solamente la flora y fauna planctónica formarán el *boghead*, pero no es fácil encontrar en las cuencas hulleras una distribución tan sencilla (Fig. 14).

Estratigrafía del carbonífero

Evidentemente, tanto el carbón como las rocas que lo envuelven son de origen sedimentario. Estas rocas, blandas y plásticas en su origen, se han ido endureciendo y aparecen estratificadas en capas horizontales cuando no han sufrido plegamientos. Los animales que vivían en los mares o lagos de la zona carbonífera han dejado sus huellas, caparazones o esqueletos en la materia mineral sedimentada.

Los fósiles son los mejores indicadores de la *facies* de una roca y como las faunas y floras han experimentado muchas evoluciones, son buenos indicadores de cada época geológica; tanto mejores cuanto más rápida sea su evolución.



FORMACION SEMI-AUTOCTONA DE LAS HULLAS (LECOMTE)

- Fig 14 -



Los fósiles característicos de una determinada época permiten establecer sincronismos geológicos entre lugares muy alejados. Naturalmente, esta cronología no puede medirse en unidades absolutas de tiempo sino con referencia a la superposición normal de los elementos geológicos designados por el nombre de la localidad en que fueron determinados por primera vez.

Los estratos bastos, tales como los cantos rodados o los conglomerados, indican la situación de una ribera, un delta de terreno ó fuertes corrientes de agua; la aparición posterior de facies vegetales indicará que las aguas se han retirado ó reducido a marismas ó pantanos.

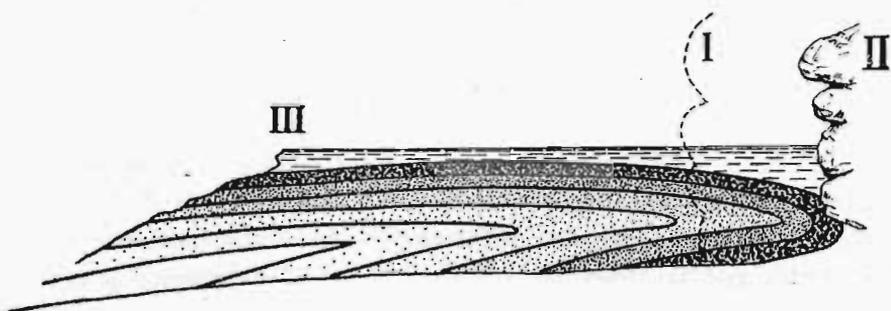
Los materiales arrancados por la acción erosiva del mar sobre las rocas del litoral experimentan una clasificación mecánica debida al enérgico y continuo movimiento de las aguas. En la inmediata proximidad a la costa se depositarán los trozos gruesos que, por el arrastre de las mareas presentarán superficies más o menos redondeadas, salvo que hayan quedado pronto inmovilizados por una suficiente profundidad en la región costera ó por una pronta conglomeración con otros materiales sedimentarios. A mayor distancia se depositarán las arenas; más lejos las arcillas, luego un barro calcáreo y, finalmente un lodo silicioso.

En un movimiento positivo ó de transgresión del mar, sobre un mismo lugar, se irán depositando capas de estos respectivos caracteres y, en orden contrario, cuando el movimiento del mar sea negativo ó de regresión, formándose en el conjunto de estos dos movimientos sucesivos un *ciclo sedimentario completo* (Fig. 15).

Frecuentemente, en vez de este ciclo completo y regular, se observan movimientos positivos de duración relativamente corta, interrumpidos por movimientos negativos, que originan alternancias de arenas y arcilla.

Separando los distintos ciclos, aparecen facies continentales y capas de carbón.

En los puntos correspondientes al límite de la transgresión, las distintas capas se interrumpirán, terminando en bisel. Estas trans-



DEPOSITOS DE TRANSGRESION Y REGRESION

- I- *Situación de la costa al iniciarse la transgresión.*
 II- *Situación de la costa al terminar la transgresión.*
 III- *Situación de la costa después de la regresión.*

— Fig. 15 —

gresiones marinas se señalan por la presencia de fósiles marinos en un lecho de sedimentos.

Cuando estas transgresiones tienen un carácter general, se pueden establecer correlaciones entre las capas de distintas cuencas, siempre que tengan fósiles característicos. Las transgresiones que ocurren simultáneamente en vastísimas extensiones reciben el nombre de *movimientos eustáticos*.

Toda cuenca carbonífera, cualquiera que sea su antigüedad, ha estado sometida a descensos por subsidencia ó por compresión entre dos macizos más antiguos y rígidos, los cuales tienden a elevarse. El plegamiento de una serie puede ser tan fuerte que parte de ella llegue a emerger y quedar sometida a las acciones erosivas

subaereas (lo que explica la formación de cantos rodados de carbón encontrados en algunos yacimientos) y sobre esta superficie erosionada pueden depositarse nuevos sedimentos en una siguiente transgresión.

La época geológica en que se han formado los grandes yacimientos carboníferos del mundo está situada en el final de la era primaria correspondiendo con las amplias modificaciones experimentadas por la superficie terrestre al fin del Paleozoico y comienzo del Mesozoico ó era secundaria.

Haug²⁰ ha propuesto el nombre de «Período antracólico» que comprende los sistemas Carbonífero y Permiano.

Al final del Devoniano, Europa estaba dividida en dos grandes sectores, uno continental y otro marítimo. El primero había emergido a consecuencia del movimiento Caledoniano y estaba cubierto de lagunas y de superficies desérticas. Al sur de Europa existía una vasta extensión marina²¹.

Comenzó entonces una larga serie de plegamientos llamados *Hercinianos* que se iniciaron con la *Fase Bretona* que dejó sus huellas en el macizo esquistosos renano, iniciándose un largo geosinclinal, al sur del continente nordatlántico, desde Cornwalles a Polonia, emergiendo una gran isla formada por Bretaña, los Vosgos, el Sarre, Turingia, y Bohemia²².

A esta emersión sucedió una gran transgresión marina que depositó grandes capas de caliza, principalmente en Inglaterra y en Bélgica formando el *Dinantiense*, rico en corales y en braquiópodos. Alrededor de la nueva gran isla se depositó un espeso complejo terrigeno continental llamado *Culm*.

Al final del Dinantiense, se produjo la segunda fase del plegamiento considerada como la más importante de los plegamientos hercinianos, llamada le *fase Sudete*. Aparecieron entonces nuevas tierras, que sometidas a un clima lluvioso fueron muy erosionadas por las aguas y sus arrastres rellenaron grandes fosas en formación, unas *parálicas* u oceánicas, con fósiles marinos y otras *limnias* ó continentales, con fósiles terrestres ó de agua dulce. Ambas comienzan a presentar filones de carbón entre los sedimentos que forman el *Namuriense*.

Las tres principales fosas de esta época son: una que va del Devonshire al Ruhr; otra de Asturias a los Alpes cárnicos y la tercera al sur de España.

La tercera fase de los plegamientos, llamada Asturiana, corresponde al límite de separación entre el *Westfaliense* superior y el comienzo del *Estefaniense* y dejó definitivamente marcado el surco mediterráneo. En el *Westfaliense*, alcanzaron gran desarrollo las cuencas Frango-Belga, la de Westfalia y la cuenca central de Asturias, mientras que, en el *Estefaniense* alcanzaron su máximo desarrollo las del Sarre y del Gard.

El ilustre geólogo asturiano Patac²⁸ ha hecho un magnífico estudio comparativo de nuestra cuenca central con la holandesa que es una de las mejor estudiadas y conocidas, correspondiente, además, a la misma época geológica y de él deduce la siguiente posición estratigráfica de nuestras capas:

En el Namuriense medio (Grupo Epen), las «Calizas» y las «Generales».

En la primera mitad del *Westfaliense* A, (grupo Baarlo), el subtramo «San Antonio».

En la segunda mitad del *Westfalinse* A, (grupo Wilhelmina), el subtramo «María Luisa».

En la primera mitad del *Westfaliense* B, (grupo Hendrik), el subtramo «Sotón bajo» y la mitad del inferior de «Sotón alto».

En la segunda mitad del *Westfaliense* B (grupo Maurits), la mitad superior de «Sotón alto» y el subtramo «Entrerregueras».

En el *Westfaliense* C, (grupo Jabeek) el subtramo de «Sorriego».

Las cuencas de la vertiente meridional de la cordillera cantábrica son consideradas, en general, como contemporáneas de la cuenca central asturiana. Por el contrario, Patac, después de un detenido estudio de estas cuencas y de los afloramientos próximos a la Sierra de la Demanda, en la provincia de Burgos, explica todas estas formaciones como resultantes de una invasión de la submeseta septentrional de Castilla, de la submeseta meridional (desde Madrid a Castellón y Albacete) y el gran valle Bético (desde Alicante a Cádiz) por un mar Uraliense que penetró también

en Asturias por Villablino y Cangas del Narcea hasta Arnao; por Puertoventana hasta Teverga y por Liébana a la región oriental de Asturias. Toda esta gran superficie bañada por el llamado *mar de las fusulinas*, del hullero superior, puede encerrar, en opinión de Patac, extensísimos yacimientos hulleros, recubiertos por terrenos secundarios y terciarios; en la cual, las cuencas meridionales conocidas y explotadas serían simples afloramientos.

Recientemente, en 1946, Lombard,²⁴ recogiendo en un mapa de la Europa del Carbonífero superior datos de Haug, Furon, Gignoux y Demay, señala la existencia de ese mar postulado por Patac e indica formaciones del Ottweiler litoral; es decir, uralienses, a lo largo del litoral cantábrico y en la vertiente occidental pirenaica.

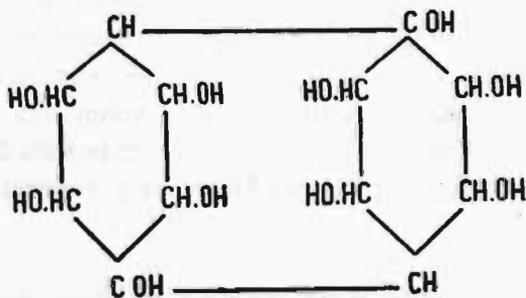
Mencionaremos, por último, dos horizontes lignitíferos bien definidos: Los *lignitos cretáceos* de Utrillas (Teruel), de Figols (Barcelona) de Las Rozas (Santander), etc. y los *lignitos oligocenos* de los valles del Ebro y del Segre, de Sierra de Espuña (Murcia), de Valencia y Baleares, de Puentes de García Rodríguez (Coruña), etc.

Carbonización de las materias vegetales

Las plantas están formadas, fundamentalmente, por *celulosa* y *lignina*, contienen, además, albuminoides, ceras, resinas, cutina y otros productos de menor importancia en la génesis del carbón.

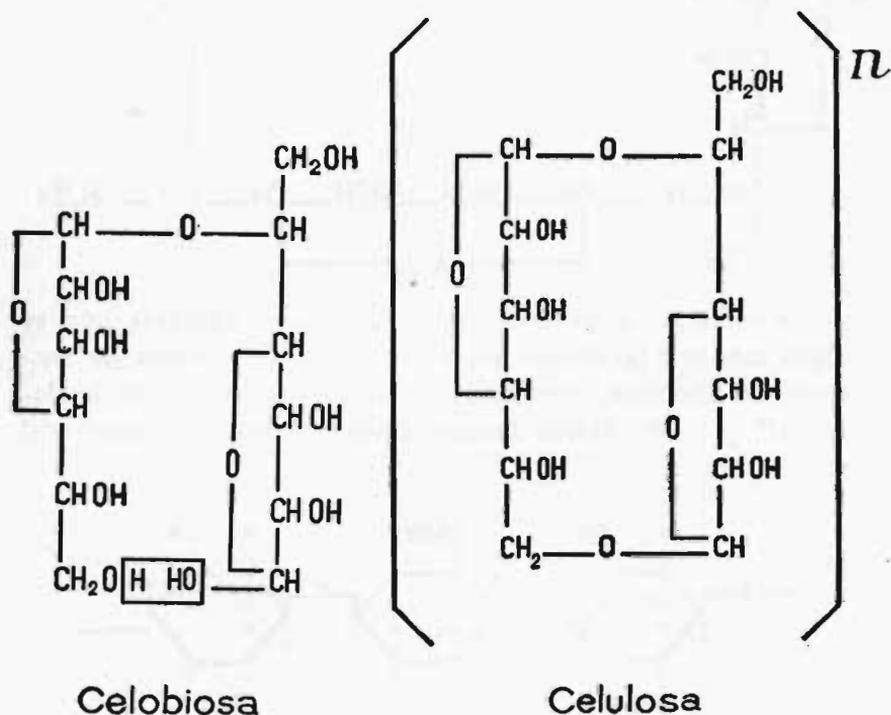
Las *celulosas*, que forman la estructura básica de los vegetales, están constituidas por hidratos de carbono de fórmula $n(C_6H_{10}O_5)$ con una composición elemental de 44,4 por ciento de C, 6,2 por ciento de H y 49,4 por ciento de O.

Según Cross y Bevan²⁵, de los cinco átomos de oxígeno, cuatro están formando grupos OH y la fórmula es



pero esta fórmula no explica ciertas propiedades de la celulosa, como la frecuente formación de furfural en las transformaciones químicas de la celulosa, lo que indica la presencia en ella de grupos furánicos y la formación, por hidrólisis, de celobiosa la cual, a su vez, se desdobla en glucosa.

Según Karrer²⁶, la celulosa sería el resultado de la polimerización de un anhídrido de celobiosa:

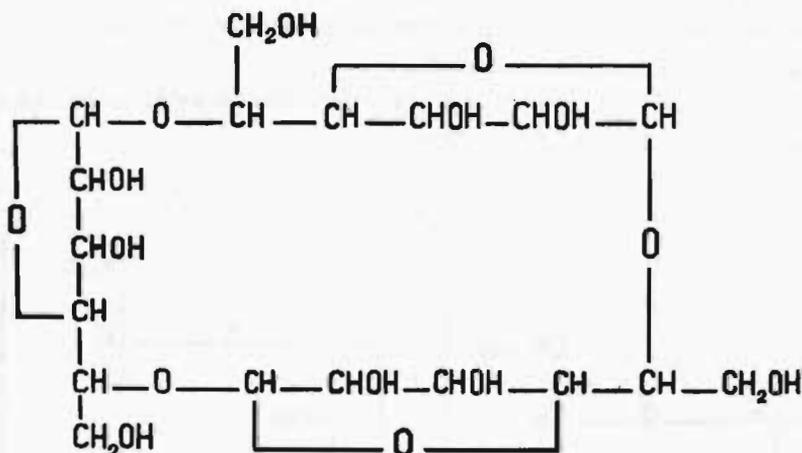


en que (n) es indeterminado.

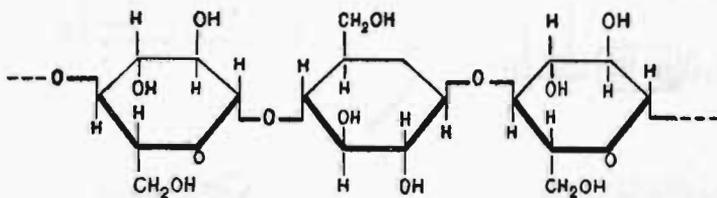
Por hidrólisis, la celulosa se transforma en celobiosa (con un rendimiento del 50 al 70 por ciento) y en glucosa. Esto ha hecho suponer a Karrer que se forman cantidades, aproximadamente iguales de celobiosa y de maltosa, pero que esta última se hidroliza inmediatamente en glucosa.

El hecho de que el único disacárido encontrado en los pro-

ductos de hidrólisis de la celulosa es la celobiosa ha inducido a Irvine²⁷ a atribuir a la celulosa la siguiente fórmula:



Sin embargo, la fórmula más corrientemente admitida hoy es la que supone a la celulosa formada por una larga cadena de moléculas de celobiosa, constituidas según el modelo especial de Harworth²⁸ y unidas glucosídicamente por el átomo de oxígeno del cuarto carbono.



Esta última fórmula, además de presentar en cada grupo de hexosa tres oxhidrilos eterificables, concuerda con los poderes rotatorios de los derivados de la celulosa, que son del mismo orden que el de los B-glucósidos y también los diagramas de difracción de rayos X corresponden a los de un cristal que gira alrededor de un eje, con una dimensión de malla de 10,3 Å a lo largo de la común orientación de los mismos (que es la de la fibra), prácticamente igual a la dimensión de malla de la celobiosa.

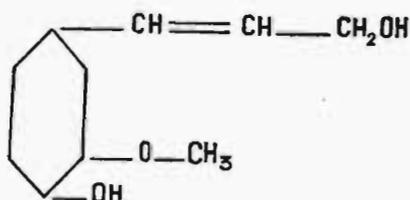
Además, Zechmeister y Toth²⁹ han logrado extraer fragmentos de cuatro y hasta de seis grupos de celohexosa por acetólisis de la celulosa con una mezcla de ácido sulfúrico y anhídrido acético.

Las *ligninas* han sido separadas de la madera por Willstätter³⁰ y sus colaboradores solubilizando las celulosas y gomas que la acompañan por medio de una hidrólisis rápida y la industria lo hace, actualmente, por tratamientos con sosa o con lejía bisulfítica; pero el producto obtenido no está formado por lignina pura, sino por una mezcla de lignina y gomas, lo que no ha permitido aún dilucidar completamente su constitución, siendo muy importantes, a este respecto, los trabajos de Klason³¹.

Se distinguen dos grupos de ligninas: las α y las β .

Las primeras se encuentran en los vegetales en la proporción aproximada de dos a uno, respecto de las segundas. Aquellas se caracterizan porque sus disoluciones son precipitadas por el cloruro cálcico, en forma de lignosulfonato cálcico, y tienen una composición elemental $C_{22}H_{22}O_7$, conteniendo grupos metoxilo ($-O-CH_3$) y acroleínico ($-CH=CH-CHO$), mientras que las del grupo β , de fórmula bruta ($C_{19}H_{18}O_9$) no precipitan por el cloruro cálcico, contienen un grupo carboxilo y carecen de radical acroleínico. Ambas tienen un carácter aromático demostrado por sus derivados.

Es decir, que la substancia básica original de las ligninas puede ser el alcohol coniferílico o *aglicona*



que existe en estado de glucósido, la *coniferina*, en el cambium de las Coníferas; cuerpo cinámico químicamente relacionado con la esencia de canela.

Es fácil pasar de la aglicona a la vanillina, al guayacol, a la pi-

rocatequina y al ácido pirocatéquico, productos todos que, con el alcohol metílico y el ácido acético se encuentran siempre en la pirolysis de la madera.

Se ha tratado de explicar la formación de la lignina por una deshidratación de la celulosa; transformación que avanzaría con el crecimiento de las plantas; pero ésto aun no ha podido demostrarse ni siquiera razonarse con sólidos fundamentos y, en tanto que no se llegue a un conocimiento más perfecto de la constitución química de las ligninas, es aventurado determinar su origen.

Los *albuminoides* de los vegetales existen en el protoplasma y, especialmente, en el núcleo de las células vivas. Entre las sustancias nitrogenadas de las plantas, merece particular mención la clorofila que contiene núcleos, derivados del pirrol, unidos al magnesio.

La *cerina*, la *suberina* y la *cutina* son sustancias de protección que recubren las partes externas de los vegetales, impermeabilizándolas y su constitución química es parecida a la de las grasas. Mientras que en la constitución de la cutina toman parte una molécula de ácido estearocútico, $C_{28}H_{48}O_4$ y cinco moléculas de ácido oleocútico $C_{15}H_{20}O_4$, por saponificación de la cerina y de la suberina se obtienen ácidos esteárico y felónico $C_{23}H_{43}O_3$; pero, como ha señalado Duparque⁸², la cutinización consiste en una verdadera transformación de la membrana celulósica; en cambio, la suberinización es una impregnación de dicha membrana por cerina y suberina.

Las *esencias* son productos de secreción, que pueden permanecer en el interior de las células secretoras o acumularse entre ellas. Están formadas por hidrocarburos de la serie grasa o terpénicos. Por oxidación, forman las *resinas* y la mezcla de éstas con esencias y un ácido libre (generalmente el benzóico o el cinámico) forman los *bálsamos*.

Las *gomas* y los *mucilagos* son cuerpos de carácter péptico, que resultan de la gelificación de las membranas celulósicas y tienen una composición análoga a la de las dextrinas.

La turbificación (Fase bioquímica de White³³)

Ya en la segunda mitad del siglo XIX, quedó demostrado que ciertas bacterias atacan a la celulosa y partes blandas de los vegetales.

Al comienzo del siglo actual, Renault encontró en las turberas *Micrococcus* y *Streptococcus* capaces de actuar a profundidades hasta de unos diez metros, formando un gel o sustancia matriz de todos los carbones, observando que el grado de alcalinidad del agua puede influir en la máxima profundidad de acción de las bacterias.

En casi todos los lechos de lignito se ha encontrado el *Bacillus fluorescens* y hasta en capas de hulla, en profundidades de 400 a 750 metros, se hallaron bacilos de los géneros *subtilis* y *mesentóricus*³⁴.

Los estudios más interesantes acerca de la intervención de los micro-organismos en la formación del carbón son los de Waksman y de Fischer y Liesk, del Instituto del Carbón, de Mülheim, según los cuales, en los pântanos pueden distinguirse tres zonas: una superior, expuesta al aire, que contiene numerosos hongos y bacterias aerobios; una zona intermedia, poco sumergida, en la que ya no hay hongos y disminuye el número de aerobios y otra más profunda, en la que existen bacterias anaerobias. Los hongos y las bacterias aerobias destruyen la celulosa de la pared celular y solamente las anaerobias atacan a la lignina.

El orden en que se descomponen los elementos vegetales es el siguiente: 1—protoplasma; 2—clorofila; 3—aceites; 4—celulos; 5—epidermis; 6—películas de semillas; 7—pigmentos; 8—cutículas; 9—esporas y exina de polen; 10—ceras; 11—resinas. Los tres primeros desaparecen rápidamente y los cuatros últimos son muy resistentes permaneciendo después de la completa eliminación de los anteriores³⁵.

En estas descomposiciones bacterianas, además de metano, anhídrido carbónico y agua, se forman ácidos fórmico, acético, láctico, oxálico, etc. que se disuelven en las aguas, y un producto limoso, llamado *humus*, formado por compuestos complejos, también ácidos, conocidos en conjunto como *ácidos húmicos*.

La acidez, así creada, limita la actividad de las bacterias.

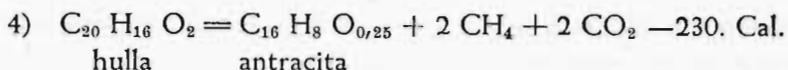
En las aguas completamente estancadas, la limitación del oxígeno disuelto a la capa más superficial y la acumulación de acidez permitirán que hasta la celulosa quede inalterada y el carbón, así formado, sería rico en vitreno. En cambio, en las aguas más aireadas y renovadas, la fermentación sería muy activa y solo la resistirían las esporas, cutículas, resinas, etc., que originarían carbones ricos en dureño y aun cancell.

Esto permite comprender por qué no todos los acumulos de plantas forman turberas; por ejemplo, en algunas selvas tropicales donde quizá el factor temperatura active excesivamente la acción de las bacterias o en lugares en que la corriente del agua no permite concentrar la suficiente acidez frenadora.

Tiene extraordinario interés, a este respecto, la hipótesis de Taylor³⁶ según la cual la transformación de la turba en lignito y hulla o su permanencia en tal estado de turba depende de que esté o no recubierta por lechos minerales, y de la naturaleza de esos lechos. Si es arcilloso (silicatos de cal y de aluminio) puede producir una desacidificación y como aún conserva una cierta permeabilidad a los gases proseguirá una lenta actividad de los aerobios y la turba se transformaría en lignito. Si más tarde se produce en tal techo un cambio de base calcio-sodio, al contacto con impregnaciones salinas, análogo al bien conocido de las permutitas, el medio puede llegar a ser alcalino y el silicato sódico formado impermeabilizaría el techo a los gases, interrumpiéndose la acción bacteriana aerobia. En tales condiciones, una fermentación exclusivamente anaerobia conduciría a la formación de las hullas. Un techo formado por complejos sodio-aluminio-silice impediría el escape de metano y de nitrógeno por su impermeabilidad a los gases; pero no del anhídrido carbónico que sería absorbido por el hidróxido sódico resultante de una hidrólisis del complejo.

Experimentalmente, comprobó que sustancias orgánicas colocadas sobre una capa de arena y cubiertas por un complejo sodio-aluminio-silice, sufrieron una transformación semejante a la de la carbonización.

En cinco capas de carbón inglés, encontró que mientras el mu-



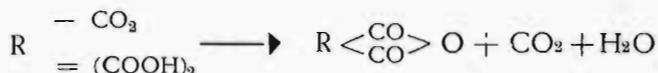
También Wheeler y Jones compartieron la opinión de Bergius fundándose en la escasa proporción de lignina en la madera, aunque no hay razón para suponer que en la flora del carbonífero ocurriese lo mismo.

Teoría de la lignina

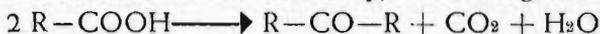
A medida que se fué conociendo mejor la composición química de los carbones, así como las de la celulosa y la lignina, la teoría de Bergius tropezaba, de día en día, con nuevas dificultades.

Fuchs³⁸ y Marcusson³⁹ encontraron que los lignitos están formados fundamentalmente por ácidos húmicos y humatos.

Los ácidos húmicos fueron identificados por Marcusson⁴⁰ como ácidos policarboxílicos unidos, según Waksman, a grupos metoxilo y acetilo y su transformación en sustancias húmicas insolubles consiste en una descarboxilación que daría anhídridos pirohúmicos y cetonas, con desprendimiento de CO_2 y de H_2O . En una primera reacción



quedaría como residuo sólido, el ácido pirohúmico, o sea el anhídrido de un ácido menos carboxilado y, en una segunda reacción,



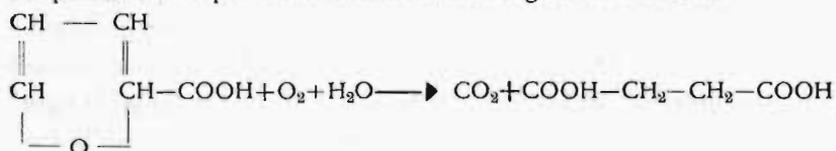
el residuo sería una cetona húmica. Estos productos y los resultantes de la transformación de ceras y resinas serían los constituyentes fundamentales del lignito.

Por posterior desprendimiento de CO_2 y CH_4 , estas sustancias húmicas acaban por hacerse insolubles hasta en los álcalis fundidos, estado en que se encuentran formando hasta un 90 por 100 en las hullas.

Fischer y sus colaboradores, tratando lignito con oxígeno, a presión y a 200° identificaron los ácidos benzóico, isoftálico y pirocatéquico, junto con ácidos fórmico y acético, en el líquido obtenido, el cual daba un precipitado pardo de ácido húmico, al ser tratado por ClH , demostrando, una vez más, el carácter aromáti-

co de los componentes del lignito. La lignina se comporta de un modo análogo⁴¹; pero la celulosa, tratada de la misma manera, solo da compuestos furánicos, que no se encuentran en el carbón.

En realidad, como ha señalado Marcusson, la ausencia de grupos furánicos, en los productos de oxidación, no demuestra que no existiesen en la materia tratada, ya que el grupo furánico ha podido romperse por la oxidación, como ocurre en el caso del ácido piromúxico que da ácido succínico según la ecuación



Por destilación seca, tanto la celulosa como la lignina, dan productos fenólicos; pero, en el caso de la lignina, la proporción es siete ú ocho veces mayor, revelando su carácter aromático, demostrado también por Troppsch y Schellenberg⁴² al identificar la hexadinitrorresorcina y el trinitrobenceno en la lignina nitrada.

Fischer y Schrader⁴³ dedujeron de su estudio químico de los carbones, de la celulosa y de la lignina, que la celulosa se descompone fácilmente en CO_2 y en H_2O por la acción de los microorganismos y que no juega gran papel en la formación del carbón, formulando entonces su teoría de la lignina, como origen de los compuestos húmicos, en tanto que las ceras y resinas se transforman en betún.

Esta teoría, hoy generalmente aceptada, tuvo pronto numerosos adeptos.

Del estudio de las propiedades ópticas de la pared celular, en plantas, lignitos y carbones bituminosos, dedujo Yasui⁴⁴ que la celulosa desaparece pronto en el proceso de la carbonización, ya que su doble refracción característica disminuye a medida que dicho proceso avanza.

La persistencia de la lignina y la desaparición de la celulosa, por transformación en oxixelulosa y en pectina, fué comprobada también por Marcusson.

Waksman,⁴⁵ insistiendo en sus anteriores ideas acerca de la

contribución de la substancia propia de las bacterias, formada a expensas de la celulosa que les sirve de alimento, considera, para los compuestos húmicos, un doble origen: De una parte, procederían de los cuerpos resistentes a la fermentación (lignina, cutículas, etc.,) y de otra parte serían originados por la substancia celular de los micro-organismos.

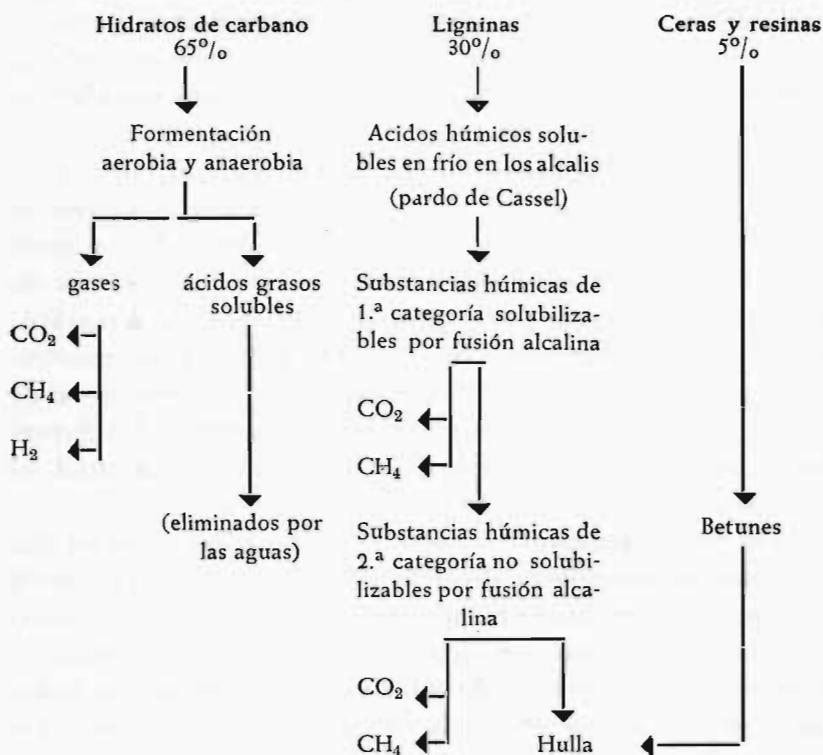
Mertens⁴⁶, razonando a la luz de la teoría de la lignina, deduce que las plantas que dieron origen a la hulla eran de tipo arbóreo, opinión compartida por Potonié y por la mayoría de los geólogos.

Wilstätter y Kalb⁴⁷ ensayaron la fuerte acción reductora del ácido iodhídrico y del fósforo sobre los azúcares y sobre la lignina, encontrando en ambos casos, que se había formado un hidrocarburo del tipo del perhidro—9—10—benzofenantreno, lo que movió a Fischer y Schrader a modificar su teoría, en el sentido de admitir una posible intervención de los hidratos de carbono en la formación de los ácidos húmicos.

Más recientemente, Berl⁴⁸ y ⁴⁹ y sus colaboradores dedujeron de ensayos de compresión, a 200—350.^o, de diversas substancias, en presencia de álcalis, que tanto la celulosa como la lignina han contribuído a la formación del carbón, predominando la primera en los carbones coquizables y la segunda en los que no coquizan. Aunque esta conclusión es bastante objetable, revela una tendencia a no excluir, con carácter tan absoluto, a la celulosa en la formación de los carbones.

Mertens y Massinon⁵⁰ han ordenado en el siguiente cuadro un resumen del proceso de formación de la hulla, según la teoría de Fischer y Schrader:

Substancias vegetales



Otras teorías

Aun admitiendo el papel predominante de la lignina en la génesis de las turbas y lignitos y que la contribución de la celulosa, a este respecto, no debe ser excluida de un modo absoluto, es evidente que otros componentes de la materia vegetal han tenido también su participación y, por cierto, no insignificante.

Duparque⁵¹, después de numerosos y muy interesantes estudios micro-gráficos de diversos carbones, principalmente de la cuenca del Norte de Francia, considera dos categorías distintas de carbones: Una de ellas, constituida por las hullas para coque y las hullas secas o antracitosas, así como los lignitos y las turbas, cuyo origen sería la lignina, pero en el cual la celulosa ha debido desem-

peñar un papel no menos importante, ha sido designada con el nombre de carbones *ligno-celulósicos*, en los que predominan el clareno y el vitreno y en los cuales, su distinto comportamiento químico puede ser debido a la influencia de las acciones secundarias (temperatura, presión, etc.), a las que nos referiremos más adelante y con mayor detenimiento.

La otra categoría, constituida por las hullas grasas propiamente dichas, para gas, y el cannel, ha sido designada con el nombre de *carbones de cutina* porque, en su origen, ha desempeñado un papel primordial la cutina, siendo verdaderamente notable que capas de un espesor del orden de metro y medio estén formadas por el acúmulo de innumerables esporas y cutículas de tamaño microscópico, lo que obliga a considerar, o bien que las verdaderas lluvias de esporas del período carbonífero no eran comparables a la dispersión actual de esas células sexuales, o bien la enorme magnitud del factor tiempo en la formación del depósito.

El hecho de que estos carbones, ricos en dureno, sean los que dan mayor proporción de alquitrán, en la destilación, ha llevado a Duparque a la conclusión de que no es en la lignina, ni en la celulosa, donde ha de buscarse el origen principal de los productos aromáticos que se extraen de la hulla, por destilación, sino en los compuestos de tipo semejante a las grasas, como la cutina y las ceras.

También Stadnikoff⁶² admite dos modalidades distintas en la formación de las hullas: Una, a partir de los vegetales ricos en lignina, según el proceso indicado por Fischer y Schrader, y otra, por la cual los ácidos grasos de las esporas, cutículas y demás residuos microscópicos de las plantas se polimerizan y deshidratan transformándose en hidrocarburos cíclicos, formando carbones del tipo de los bogheads, cuyo alquitrán de baja temperatura es pobre en fenoles, en resinas y en asfaltenos. Así, pues, las ceras y las resinas desempeñarían, en la génesis de los carbones, un papel bastante más importante del que permite prever la teoría de la lignina.

Condiciones que han influido en la formación de Turbas y lignitos

a) *Condiciones climáticas*

Existe general unanimidad en admitir que el clima del carbonífero fué uniforme en grandes áreas de la superficie terrestre, como lo demuestra el hecho de que las mismas especies de plantas carboníferas se encuentren, en ambos hemisferios, desde los trópicos a las regiones polares y posiblemente esta condición continuó en el Jurásico y en el Cretáceo, con algunas interrupciones.

Puede explicarse ésto por la gran cantidad de anhídrido carbónico que existía en el aire, el cual, como es sabido, posee dos bandas de absorción bastante importantes. También pudo contribuir a esta uniformidad la distribución de mares y continentes, muy distinta de la actual, que permitiría corrientes oceánicas capaces de templar las zonas polares.

Tampoco ofrece duda la fuerte humedad de la atmósfera en este período y la poca o ninguna diferenciación de las estaciones, demostrada por la falta de anillos de crecimiento en los troncos.

El gran desarrollo de hojas y frondes y las grandes dimensiones celulares, con delgadas paredes, indican un rápido crecimiento, correspondiente a un clima tropical o subtropical, aunque también en climas templados se encuentran, actualmente, bosques de lujuriosa vegetación.

b) *Exposición, previa al enterramiento*

La madera expuesta a la intemperie se pudre y, por efecto de esa putrefacción, el contenido en carbono se eleva. Así, por ejemplo, la madera sana de roble tiene 22 por ciento de carbono; mientras que la podrida alcanza un 31 por ciento. Según White⁵³, el fuseno se originaría por una putrefacción por encima del nivel del agua de la turbera.

c) *El factor tiempo*

Todas las transformaciones que hemos mencionado son suma-

mente lentas y, en general, a una mayor antigüedad corresponde un mayor grado de carbonización, salvo que otras circunstancias hayan acelerado esas transformaciones sustituyendo el efecto del tiempo

Condiciones que han influido en la formación de hullas y antracitas

a) *El factor temperatura*

Parece demostrado, sin ninguna duda, que una elevación de temperatura como la producida por la proximidad de lacolitos, batolitos o cualquier clase de infiltración ígnea, ocasiona la antracitación de los carbones sometidos a dicha elevación local de temperatura.

Esto se ha comprobado principalmente en Colorado, Alaska y Nuevo Méjico⁵⁴.

Dapples⁵⁵ ha encontrado en carbones del cretáceo y aun terciarios, que han sufrido metamorfismos por rocas ígneas, toda la serie de carbones hasta la antracita y el coque. Basándose en datos de Larsen referentes a una intrusión análoga y de Lowerin sobre transmisión del calor, calcula que las temperaturas alcanzadas fueron 300-350° en la zona antracitada y 460-500° en la zona coquizada.

En los carbones del Colorado, encontró ceras de p. f. 193-210° en las capas de hulla bituminosa; pero no en las del mismo sector que se antracitaron por intrusiones ígneas.

También White señala la existencia de resinas en hullas y en lignitos y su ausencia en las antracitas porque al llegar a esta última fase de la carbonización, las resinas se oscurecen, contraen y fracturan, hasta convertirse en residuo oscuro, esponjoso o granular que, por contracción, se reducen a delgadas escamas negras, que fácilmente se pulverizan.

De las temperaturas necesarias para alcanzar un determinado grado de carbonización, calculadas por diversos autores, con la imprecisión y discrepancias propias de esta clase de cálculos, pue-

de deducirse que, para las hullas y lignitos, es del mismo orden aproximadamente, estando comprendida entre 160° y 350° , mientras que, para las antracitas, es de 350° a 600° , y para el coque, de 600° a 900° .

Prescindiendo del caso excepcional de las intrusiones ígneas, a la creación de estas temperaturas pueden contribuir, por una parte, el grado geotérmico que puede estimarse, por término medio, en un grado por cada 33 m. de profundidad, y por otra parte, los efectos dinámicos que a continuación describiremos.

b) *El factor presión*

El carbón y los demás estratos sedimentarios que lo recubren están sometidos a la continua presión producida por el peso de las capas superiores y esta *presión estática* será, por consiguiente, tanto mayor cuanto más profundo y, generalmente, más antiguo sea el estrato que la soporta.

Ya hemos visto la influencia que la temperatura puede ejercer acelerando las reacciones. Es sabido que, en las reacciones químicas corrientes, cada diez grados más de temperatura suponen, aproximadamente, una duplicación de la velocidad de reacción.

En las fases finales del proceso de la carbonización, caracterizadas por fenómenos de polimerización, que conducen a la formación de productos, cada vez más densos, no puede menos de ejercer una marcada influencia la presión a que estén sometidos.

Los autores que se ocupan de estas cuestiones se refieren con frecuencia a una *elevación de temperatura por efecto de la presión*. Esto sería más correcto si en vez de presión dijeran *compresión*.

En efecto, una fuerza no puede desarrollar calor en tanto que no realice un trabajo; ahora bien, como la evolución de la carbonización supone un aumento de la densidad, existe realmente una compresión y si el cuerpo que se comprime es plástico y poco elástico como el carbón, la energía disipada en forma de calor puede ser lo bastante considerable para producir una mayor o menor elevación de temperatura.

Los gases que se desprenden, hasta en las últimas fases de la carbonización, pueden absorber y amortiguar los efectos de compresión disminuyendo el desprendimiento de calor, y quizá esto pueda servir de explicación a la observación de Campbell, de que la antracitación es favorecida por el carácter poroso de las rocas que rodean al carbón, siendo más favorables a la formación de antracita las areniscas gruesas que las pizarras.

La progresión de la carbonización bajo la acción aislada, o más probablemente combinada, de la temperatura y de la presión es tan evidente que ha permitido a Hilt⁵⁶ enunciar, en 1873, el principio conocido como *Ley de Hilt* según el cual, el contenido en carbono fijo aumenta progresivamente con la profundidad de enterramiento.

Esta ley ha sido confirmada por multitud de observaciones en distintos países y una de las más curiosas es la referente a unos lignitos encontrados en capas del Carbonífero, de la región occidental de Australia, en que, por faltar algunas zonas del Permo-carbonífero, no estuvieron sometidas a tan intensas presiones como los demás carbones, del mismo período y de la misma región, que se transformaron en hullas o en antracitas.

Van Waterschoot calcula la disminución de las materias volátiles con la profundidad en 1,6 por ciento, por cada 100 metros.

Se han señalado también no pocas excepciones a la ley de Hilt, entre las que citaremos la «turba» pleistocénica de Honerdingen que, por su aspecto y composición, es un lignito y los «lignitos» existentes en la base de las hullas de Tula, Moscú.

Petraschek y Wilser⁵⁷ creen que la ley de Hilt no se cumple para los yacimientos más recientes, posteriores al carbonífero; pero, en cambio, se aplica por igual a los yacimientos parállicos que a los límnicos.

La ley de Hilt resulta a todas luces insuficiente para explicar la disminución progresiva en materias volátiles, en sentido horizontal, de la serie de capas de toda una cuenca, como la señalada por Legraye⁵⁸, en dirección suroeste a nordeste, en la cuenca de Lieja; en dirección oeste a este, en una capa de carbón bituminoso de Pensilvania, estudiada por Stadnichenko⁵⁹, etc. No obstante, en to-

dos estos casos, la ley de Hilt se cumple en sentido vertical.

Estos casos últimamente citados parecen, a primera vista, una confirmación de la hipótesis de clasificación en sentido horizontal, de los distintos componentes vegetales que han dado origen a carbones de diferente calidad; pero ni es probable que ésto sucediera en una extensión tan considerable, ni tendrían explicación esas mismas variaciones en sentido vertical, ni el examen microscópico ha revelado diferencia alguna en la primitiva materia vegetal de cada capa, en toda su extensión. Además, en dirección normal a la de desvolatilización, no se han encontrado variaciones apreciables.

En todos estos casos, el estudio tectónico de la cuenca revela que ésta ha estado sometida a esfuerzos de compresión horizontales en dirección precisamente perpendicular a las líneas *isoantracíticas* (o *isovol*, como las ha llamado White) que explican, por el efecto de la compresión, las diferencias encontradas. Merece citarse, a este respecto, el magnífico estudio hecho por Legraye de las cuencas de Lieja.

También esta hipótesis tiene sus escollos. En los plegamientos hercinianos de Lievin (Paso de Calais) las partes más elevadas de los plegamientos tienen igual o menor contenido en materias volátiles que las partes más bajas, a pesar de que el esfuerzo ha debido ser mayor en estas últimas y en contra de la ley de Hilt; pero esta objeción es fácil de salvar. Los plegamientos hercinianos no han tenido intervención apreciable en la antracitación de los carbones; puede decirse que han llegado demasiado tarde, cuando ya las capas de carbón poseían una tupida red de fisuras de contracción que las hacían frágiles y fácilmente dislocables y no es la fricción de superficies de rotura sino la fricción molecular de un cuerpo homogéneo y plástico, que aguanta los efectos de compresión, lo que puede ocasionar una elevación de temperatura.

No es en los aparatosos pliegues hercinianos sino en los esfuerzos tangenciales, anteriores a ellos y a veces bien resistidos, entre robustos macizos de más antigua formación, donde encontraremos un factor, si no el más importante de la antracitación de las hullas.

BIBLIOGRAFIA

- (1)—C. BERTHELOT—«La Tourbe»—Dunod, París (1943).
- (2)—J. J. STEVENSON—Proc. Am. Phil. Soc.—Vol. 50—p. 1-116 y 519-643 (1911).
- (3)—C. W. von GUMBEL—Sitzungs d. Math. Phys. Klasse k. b. Acad. Wiss.—Vol. 13—p. 113 (1883).
- (4)—F. von BEROLDINGEN—«Beobachtungen, Zweifel und Fragen, die Mineralogie überhaupt und insbesondere ein natürliches Mineral System betreffend»—Hannover (1778) p. 131.
- (5)—DELUC—J. Physique—Vol. 38—p. 174 (1798).
- (6)—J. LE CONTE—«Lectures on Coal»—Ann. Rept. Smithsonian Inst. (1858) p. 131.
- (7)—C. S. FOX—Fuel—Vol. 9—p. 548-59 (1930).
- (8)—H. D. ROGERS—«An Inquiry into the origin of the Appalachian Coal Strata, Bituminous and Anthracite»—Repts. of Amer. Assoc. of Geologists and Naturalists—Boston (1843).
- (9)—E. MAMMATT—«Coal Field of Ashby de la Zouche»—W. Hextall and G. Lawford—London (1834) p. 71-4.
- (10)—R. E. GRIM—Bull. Am. Ceramic Soc.—Vol. 14—p. 113-19, 129-34 y 170-6 (1935).
- (11)—H. MIETZSCH—«Geologie der Kohlenlager» (1875).
- (12)—H. POTONIE—Jarb. d. k. Preuss. Geol. Landesanstalt (1895).
- (13)—J. B. JUKES—«The South Staffordshire Coal Field» Memoirs Geol. Survey of Great Britain, 2.^a ed., Londres (1895).
- (14)—J. HALL—«Paleontology»—Vol. III—Nueva York (1859).
- (15)—W. S. GRESLEY—Am. Geologist—Vol. 14—p. 356-65 (1894).
- (16)—J. H. HUTTON—«Theory of the Earth witz Proofs and Illustrations»—Codell Jr. & Davies—Londres (1795)—Vol. I—p. 565-86.
- (17)—GRAND'EURY—Ann. des Mines—Ser. 8-T. 1. (1882).
- (18)—H. FAYOL—Bull. Soc. Géol. de France—(3)—Vol. 16—p. 968-78 (1887).
- (19)—A. DUPARQUE—Bull. Soc. Géol. de France—Ser. 4—Vol. 28—p. 455 (1928).

- (20)—E. HAUG—Bull. Soc. Géol. de France—Ser 3—Vol. 28 (1900).
- (21)—M. GIGNOUX—«Géologie Sstratigraphique»—2.^a ed., París (1934).
- (22)—A. DEMAY—Bull. Soc. Géol. de France—Ser. 5-Fasc. 4 (1934).
- (23)—I. PATAC—Asociación Española para el Progreso de las Ciencias—XV Congreso—Santander (1938).
- (24)—A. LOMBARD—«Le Charbon»—Dunod, París (1946) p. 149.
- (25)—CROSS y BEVAN—Trans. Chem. Soc.—Vol. 79—p. 366 (1901).
- (26)—P. KARRER—Helvetica Chimica Acta—Vol. 5-p. 187 (1922).
- (27)—IRVINE—British Association Reports—(Septiembre de 1922).
- (28)—W. N. HAWORTH—X.^a Conf. Unión Intern. Chimie—(1930) p. 33.
- (29)—L. ZECHMEISTER y G. TOTH—Ber.—Vol. 64—p. 854 (1931).
- (30)—R. WILLSTÄTTER y ZECHMEISTER—Ber.—Vol. 46—p. 2.401 (1913).
- (31)—P. KLASON—Ber.—Vol. 53—p. 706 y 1.862 (1920).
- (32)—A. DUPARQUE—Ann. Soc. Géol. du Nord—Vol. 51—p. 432-3 (1926).
- (33)—D. WHITE—Econ. Geol.—Vol. 3—p. 292-318 (1908).
- (34)—LIESKE y HOFMANN—Brennstoff Chem.—Vol. 9—p. 174-282 (1928).
- (35)—S. A. WAKSMAN—Brennstoff Chem.—Vol. 13—p. 241-7 (1932).
- (36)—TAYLOR—Fuel—Fasc. 5—p. 238-9 (1928).
- (37)—F. BERGIUS—«Die Anwendung hoche Drucke bei chemischen Vorgängen und eine Nachbildung des Entstehungsprozesses der Steinkohle»—Halle (1913).
- (38)—W. FUCHS—Brennstoff Chemie—p. 337—40 (1927).
- (39)—J. MARCUSSON—Z. Angew. Chem.—Vol. 40—p. 1.104-6 (1927).
- (40)—J. MARCUSSON—Z. Angew. Chem.—Vol. 34—p. 437 (1921).
- (41)—F. FISCHER, H. SCHRADER y W. TREIBS—Ges. Abhand. z. Kennt. d. Kohle—(V)—p. 221 (1922).
- (42)—H. TROPSCH y A. SCHELLENBERG—Ges. Abhand. z. Kennt. d. Kohle—(VI)—p. 191, 196, 214, 235 y 248 (1922).
- (43)—F. FISCHER y H. SCHRADER—Brennstoff Chem.—Vol. 2.—p 37-45 (1921) y Vol. 3—p. 67-72 y 341-3 (1922).
- (44)—K. YASUI—Bot. Mag. Tokyo—Vol. 39—p. 280-97 (1925).
- (45)—S. A. WAKSMAN—Cellulosechem.—p. 97-104 (1927).
- (46)—E. MERTENS—«Les Origines Chimiques de la Houille» (1929) p. 401.
- (47)—R. WILLSTÄTTER y L. KALB—Ber.—Vol. 55—p. 2.640 (1922).
- (48)—E. BERL y A. SCHMIDT—Ann.—Vol. 493—p. 97-152 (1932).
- (49)—E. BERL y H. KELLER—Ann.—Vol. 501—p. 84-106 (1933).
- (50)—E. MERTENS y J. MASSINON—«Les Grands Problèmes actuels de la Chimie de la Houille»—H. Vaillant-Carmann S. A.—Lieja (1941) p. 100.
- (51)—A. DUPARQUE—Ann. Soc. Géol. du Nord—Vol. 51—p. 453-6 (1926).
- (52)—G. L. STADNIKOFF—Proceedings of the Second International Conference on Bituminous Coal—Pittsburg—Vol. I—p. 608 (1928).

- (53)—D. WHITE y R. THIESSEN—U. S. Bur. of Mines Bull.—N.º 38—p. 33 (1913).
- (54)—E. S. MOORE—«Coal»—John Wiley & Sons Inc.—Nueva York—2.^a Ed. (1947) p. 179.
- (55)—E. C. DAPPLES—Econ. Geol.—Vol. 34—p. 369-98 (1939).
- (56)—C. HILT—Z. Ver. deut. Ing.—Vol. 17—p. 194-202 (1873).
- (57)—PETRASCHER y WILSER—Z. des deut. geol. Gessell.—Vol. 76 (1924).
- (58)—M. LEGRAYE—«Les Constituants des Charbons»—Dunod—Paris (1933) p. 105-126.
- (59)—T. STADNICHENKO—Econ. Geol.—Vol. 29—p. 511-43 (1934).

Las aguas subterráneas del Llano de Sitges (Provincia de Barcelona)

POR

L. SOLE SABARIS

I. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DE LA COMARCA

Las características geológicas del término municipal de Sitges y de su región limítrofe son bastante bien conocidas, gracias en primer lugar al ilustre geólogo catalán Dr. D. Jaime Almera, el cual en 1897 levantó el mapa geológico de dicha región, a escala 1:40.000. Posteriormente el Dr. Faura y Sans publicó asimismo otro mapa geológico de la región, a escala 1:100.000, y en diversos estudios de Almera, Faura, Bofill, Llopis, etc., se han completado algunos otros aspectos interesantes.

La constitución geológica del término municipal de Sitges es bastante sencilla, pues se reduce a dos clases de terrenos: las calizas cretáceas que forman las sierras y todo el substrato, y una plataforma de materiales detríticos cuaternarios que bordea la costa, desde la desembocadura de la Riera de Ribas hasta medio kilómetro al Este de la población de Sitges.

Las sierras que rodean el término municipal forman un cintu-

rón, a manera de anfiteatro, que se eleva por el Norte hasta 168 metros de altura sobre el nivel del mar, en la Sierra de Prubellas, descendiendo suavemente hacia el Oeste por la Sierra d' En Cona (68 m.), hasta la Sierra de Miralpeix (108 m.) Este anfiteatro montañoso rodea la llanura costera sobre la que se asienta Sitges. De este cordón montañoso descienden una serie de pequeñas ramblas secas casi siempre: Riera Xica, Riera de Sanodova, Fondo d' Aiguadols, etc. Como queda dicho, las sierras están constituídas exclusivamente por calizas cretáceas muy potentes, atribuidas por Almera al Hauteriviense. Las calizas forman casi siempre bancos compactos y potentes en los que difícilmente se aprecian los planos de estratificación, fáciles de confundir a veces con los planos formados por las diaclasas. En algunos sectores las calizas de tonos claros pasan a calizas dolomíticas, algo más oscuras y en algunos otros los planos de estratificación se señalan mejor por la intercalación de bancos alternantes de calizas algo margosas. Sin embargo, la compacidad y la homogeneidad del macizo calcáreo es regla general, y por consiguiente los planos de estratificación tienen poco valor en la orientación y disposición de la red hidrográfica subterránea.

En la región inmediata a la población de Sitges el macizo calcáreo queda oculto por un potente manto de materiales cuaternarios de acarreo, el cual empieza con el pequeño delta formado por la Riera de Ribas y se prolonga hacia el Este, en una extensión de unos 3 km., formando una amplia plataforma costera, limitada aproximadamente por la línea del ferrocarril. Los materiales de esta plataforma costera afloran difícilmente en los cortes de las Rieras y en las trincheras de la carretera y ferrocarril, pero se conocen algo mejor gracias a los numerosos pozos abiertos en la localidad. Así, por ejemplo, en el pozo de la finca llamada El Cortijo, debajo de las arenas y arcillas superficiales se taladraron once metros de gravas poco cementadas; un poco al NNW. de este sitio, al otro lado de la vía férrea, otro pozo que ha llegado a 19 metros de profundidad también ha cortado únicamente cascajo incoherente.

En cambio, en los pozos abiertos en las cercanías de la estación y hacia el Este, antes de la Ermita del Viñet, se repiten los niveles arcillosos estériles. Las observaciones de superficie y estos datos del subsuelo permiten afirmar que la plataforma costera está formada por tierras aluviales poco cementadas, gravas, arenas y arcillas, en capas alternantes o dispuestas en lentejones. Seguramente los alumbramientos acuíferos que jalonan lechos de grava, señalan antiguos cauces cegados o disimulados bajo las construcciones, pero es indispensable reconstruirlos para encontrar los niveles acuíferos y las venas de agua.

Entre esta plataforma costera y el macizo calcáreo existe una terraza estrecha y elevada a 50-60 metros, que a manera de escalón del anfiteatro rodea el llano de Sitges. Su altitud es algo irregular, lo mismo que su constitución, reduciéndose en general a una estrecha banda de medio kilómetro a un kilómetro de anchura, de bordes sinuosos, que penetra a lengüetazos en los entrantes dibujados por los pequeños barrancos que descienden de la sierra.

La constitución de esta terraza alta ha podido ser bien observada en el sector NE. de Sitges, en las inmediaciones de la finca de Santa Bárbara, en donde aparece constituída por una costra travertínica basal, muy potente y un manto superior de arenas y arcillas finas.

Al NE. de la Sierra d' En Cona empieza una región de constitución geológica completamente diferente y del mayor interés desde el punto de vista hidrológico. Se trata de una gran cubeta o depresión rellena por el mioceno de San Pedro de Ribas, pero la barra de calizas cretáceas de la Sierra d' En Cona separa el llano cuaternario de Sitges de la cubeta miocénica de San Pedro de Ribas, por cuya razón no se hace referencia aquí a esta zona, por ser una región independiente tanto en el aspecto geológico como en el hidrológico.

En resumen, la estructura geológica de la región que sirve de soporte a la red hidrográfica se reduce a un macizo de calizas cretáceas, a una terraza cuaternaria de piedemonte, situada entre 50

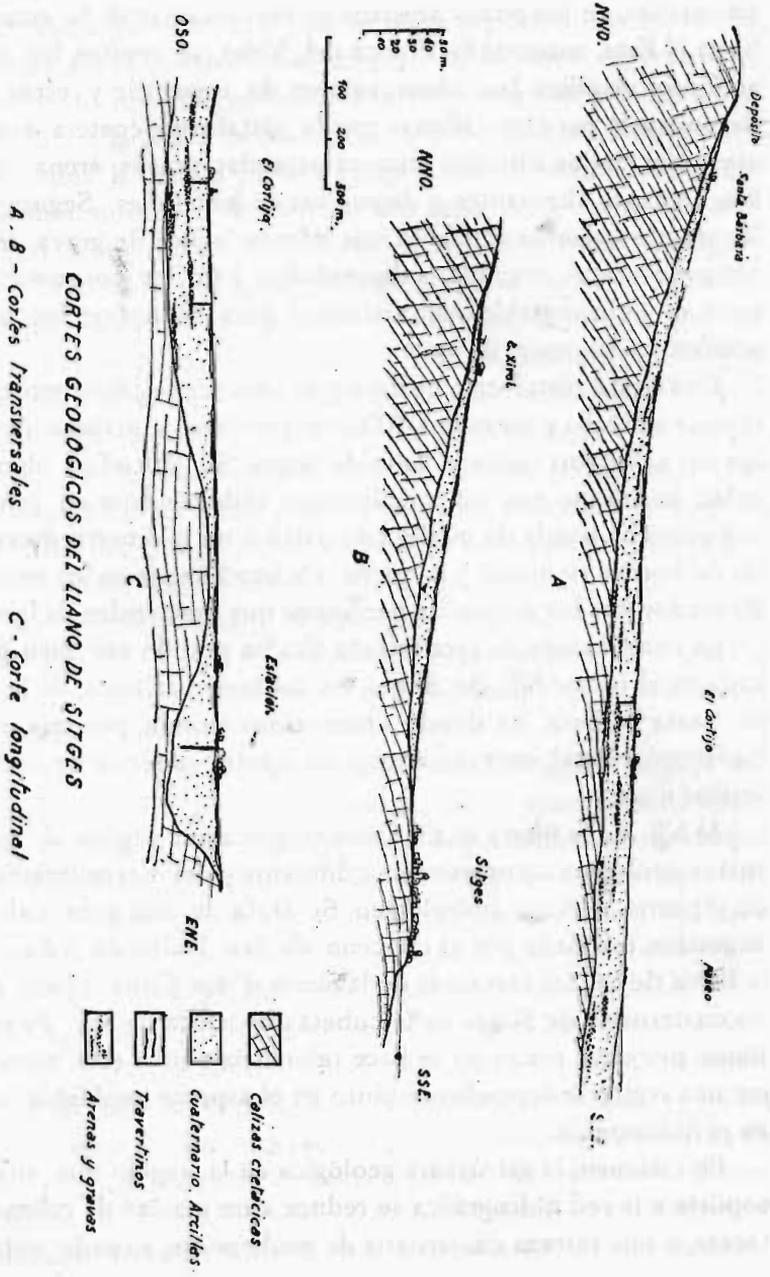


Fig. 1

y 60 metros sobre el nivel del mar, y a una plataforma costera cuaternaria, situada entre 5 y 15 metros de altura, prolongación natural del delta de la Riera de Ribas.

A cada una de estas tres zonas geológicas corresponden unas características hidrológicas completamente diferentes.

II. HIDROLOGIA

A) *Características de las aguas subterráneas de la región*

La circulación subterránea de la zona que nos ocupa viene evidentemente condicionada por sus características geológicas. Como aquella depende inevitablemente de la naturaleza del roquedo, el comportamiento del agua será distinto en una u otra clase de materiales. A este respecto es necesario tener muy en cuenta este punto por lo que se hace preciso distinguir dos tipos de circulación subterránea completamente diferentes: 1.º Circulación en las calizas y 2.º Circulación en la cobertera cuaternaria.

a) *La circulación en las calizas*

La caliza, es por su naturaleza patrográfica una roca completamente impermeable. No obstante aparece enormemente *fisurada*, es decir está atravesada por múltiples soluciones de continuidad, congénitas unas (planos de estratificación) y posteriores otras a su formación (diaclasas).

Planos de estratificación y diaclasas, constituyen por consiguiente otras tantas zonas de mínima resistencia, por las cuales las aguas de lluvia son susceptibles de introducirse y circular a lo largo de los planos de estas fisuras. Se produce entonces, por consiguiente, una verdadera *infiltración*, cuya característica es una circulación eminentemente independientemente, condicionada solamente por estos accidentes de la masa rocosa o por sus intersecciones. Allí donde éstas se produzcan, la acumulación hídrica será mayor.

El agua en las calizas, circula pues libremente, y actúa sobre ellas mecánica y químicamente produciendo erosión y corrosión en las mismas, cuya consecuencia es el ensanchamiento de las primitivas fisuras y el aumento de su capacidad para el avenamiento. Así se forman cavidades subterráneas a veces de importancia por las cuales pueden circular caudales a veces muy importantes. (Cuevas y simas). No obstante esto ocurre solamente cuando el macizo drenado tiene gran extensión y aun en estos casos, se conserva la localización de las zonas de máximo drenaje y las consiguientes dificultades para el alumbramiento. En todo momento, además, el avenamiento subterráneo está provocado por la presencia de una capa impermeable (margosa o arcillosa) o por el nivel del mar.

En este régimen las máximas acumulaciones hídricas, siguen también la ley hidrológica general, de circulación del agua en el sentido del buzamiento de los estratos, a pesar de que evidentemente existen frecuentes dispersiones por los planos de las diaclasas.

b) *La circulación en la cobertura cuaternaria*

Sobre los materiales recientes de la cobertura cuaternaria que se dispone sobre el zócalo de calizas cretácicas de Sitges, la absorción y circulación subterránea tiene características completamente diferentes.

El material cuaternario es muy heterogéneo desde el punto de vista hidrológico. Por una parte, los niveles arcillosos se oponen a toda circulación pues son completamente impermeables; por otra las capas y lentejones de gravas y arenas, absorben el agua en gran escala pues son rocas poco coherentes, enormemente porosas, y la roca se empapa de agua, es decir se produce una verdadera *imbibición* de la masa, circulando gota a gota entre sus poros y extendiéndose superficialmente formando *capas freáticas*. En este caso no hay localización del agua en una región determinada, ni siguiendo

ninguna dirección precisa; la capa de agua tiene la misma extensión que el estrato de material poroso.

Habrà aquí, también, por consiguiente un nivel acuífero (nivel piezométrico) condicionado por el equilibrio entre la gravedad y las características físicas del material permeable.

B) Zonas hidrológicas de la región

Vistas las generalidades sobre la circulación en terrenos impermeables fisurados y en materiales permeables, es evidente que desde el punto de vista hidrológico hemos de dividir a la región del llano de Sitges, en las tres zonas: 1.º Zona marginal de calizas cretácicas; 2.º Zona de la terraza alta y 3.º Zona de la plataforma costera.

a) Zona marginal de calizas cretácicas

Esta zona comprende la línea de cerros calizos que limita por el N. el llano de Sitges que forma la denominada sierra d' En Co-na. Es una zona de circulación eminentemente cárstica, como lo prueban aun los restos de una circulación subterránea pretérita más exuberante, representados por las simas (avencs) que se encuentran en las cumbres de estos cerros.

En esta zona, las aguas se infiltran preferentemente a través, de los planos de estratificación, pues las diaclasas son poco numerosas. El agua penetra preferentemente por una túpida red de leptoclasas y por la intersección de la superficie topográfica con los planos de estratificación. Como estos buzanan fuertemente hacia el NO. es evidente que el avenamiento se realiza en este sentido y por consiguiente todas las aguas infiltradas en la reducida zona de calizas se dirigen hacia la cuenca de San Pedro de Rivas.

Únicamente pueden continuar circulando en profundidad hacia la zona de Sitges, las escasas pérdidas que se producen por las diaclasas, cuyos planos buzanan fuertemente hacia el llano de Sitges.

Las cantidades de agua avenadas por estas diaclasas deben de ser evidentemente muy reducidas, pues son poco numerosas, no observándose el desarrollo en sistemas que presentan en otras regiones del macizo calizo de Garraf.

Las posibilidades hidrológicas de las calizas de la Sierra d' En Cona, son pues muy escasas, especialmente en la vertiente meridional, que es precisamente la que nos interesa. En cambio ofrecería mejores condiciones la vertiente septentrional, aunque en ningún caso sería aconsejable la perforación de pozos en esta clase de materiales.

La práctica viene a confirmar estas consideraciones teóricas pues no se ha alumbrado ningún pozo en esta zona. Todos los conocidos del llano de Sitges, corresponden a las zonas siguientes.

b) *Zona de la terraza alta*

Esta zona, comprendida entre la línea del ferrocarril y la zona caliza marginal, tiene desde el punto de vista hidrológico caracteres mixtos entre la zona caliza septentrional y la plataforma litoral, especialmente en el borde norte, es decir en las inmediaciones del contacto con las calizas cretácicas, pues la cobertera cuaternaria se adelgaza progresivamente hacia este contacto y pierde además su carácter arenoso, siendo predominantemente arcilloso. De aquí, que en el borde norte esté fuertemente influenciado por el régimen cárstico de las calizas subyacentes y el margen meridional en cambio tenga un carácter mucho más parecido al de la plataforma litoral.

1. CARACTERISTICAS DE LOS POZOS ALUMBRADOS EN ESTA ZONA

En el borde septentrional de la terraza alta, casi ya en el contacto con el margen calizo de la sierra d' En Cona, hemos explorado dos pozos, únicos alumbrados en esta zona.

Pozo de Santa Bárbara. 43 m. de profundidad. Ha cortado 8 m.

de arcilla roja cuaternaria, 1 m. de travertino y el resto de calizas, encontrando un pequeño caudal. Boca a 60 m. de altitud.

Pozo de can Xurei. 33 m. de profundidad. Ha cortado calizas y en el fondo se han encontrado cavidades naturales y una vena de agua que hace ascender el nivel hasta los 18 m. Boca situada a los 55 m. de altitud.

Según se aprecia por las características de estos dos pozos la capa de arcillas cuaternarias tiene muy poco espesor en el borde septentrional (8 m. en el pozo de Santa Bárbara) y no contiene nivel freático alguno, pues no existen depósitos de gravas ni arenas que faciliten el avenamiento. Los pozos se han abierto pues casi íntegramente en las calizas cretácicas, en las cuales puede comprobarse experimentalmente la ausencia de todo nivel piezométrico. Ambos pozos tienen régimen diferente, pues mientras el de can Xurei ha cortado una zona acuífera, el de Santa Bárbara sólo ha alcanzado algunas pobres infiltraciones; el nivel del primero asciende a 1 m. escaso sobre el fondo situado a 43 m. mientras el nivel del segundo asciende a 15 m. sobre el fondo situado a 33.

2. REGIMEN SUBTERRANEO

Tanto los datos experimentales obtenidos en estos alumbramientos como los teóricos dimanados del estudio geológico, indican que entre la superficie de las calizas cretácicas y las arcillas rojas cuaternarias existen un plano de absorción del agua, situado en pendiente hacia el mar, que drena las absorciones hacia el llano de Sitges. Parte del agua absorbida se infiltra por los planos de estratificación de las calizas cretácicas que como ya hemos indicado la dirigen hacia la cuenca de San Pedro de Ribes. No puede existir por lo tanto capa freática alguna en esta zona por lo menos en su parte alta, y ya hemos visto la inconstancia del régimen cárstico, para vislumbrar alguna posibilidad de alumbramiento en el roque subyacente al cuaternario.

La zona de la terraza alta, constituye por consiguiente a nues-

tro entender una *región de absorción*, no de acumulación, pues como se ha visto no reúne condiciones adecuadas para retener el agua absorbida. Esta debe localizarse forzosamente más abajo donde aparecen los niveles arenosos y de gravas, capaces de almacenarla.

c) *Zona de la plataforma costera*

Entre la línea del ferrocarril y la costa se extiende la tercera zona, cuyas características difieren fundamentalmente de las anteriores especialmente de la zona marginal caliza. El espesor y la constitución del material cuaternario acumulado en ella permite mayores posibilidades que las zonas anteriormente descritas.

1. CARACTERISTICAS DE LOS POZOS DE ESTA ZONA

Las perforaciones realizadas en ella, son numerosas. Detallamos sucintamente las más destacadas:

Pozo de El Cortijo. 11 m. de profundidad; en el fondo hay dos galerías, una dirigida al E. de 20 m. de longitud y la otra del O. de 14 m. El agua asciende hasta 1,20 m. del fondo y no cambia nunca en los períodos de lluvia. Ha cortado únicamente capas de arcillas y gravas. Boca situada a 12 m. altitud.

Pozos de la carretera de Tarragona. En los alrededores de la carretera de Tarragona, hay otros pozos sin galerías de drenaje a 10-11 m. de profundidad. Solamente han cortado arcillas. Dan un caudal muy pobre. Bocas situadas a 10-12 m. altitud.

Pozos del N. de la vía del ferrocarril. Al NNO. de El Cortijo sobre la vía del ferrocarril, hay un pozo de 19 m. de profundidad, que ha cortado también arcillas y gravas, dando un caudal muy abundante, sin galerías de drenaje. Boca situada a unos 19 m. de altitud.

A unos 200 m. al ENE. de El Cortijo, hay otro pozo que tiene 21 m. de profundidad. con 100 m. de galería de drenaje. Únicamente ha cortado arcilla roja compacta. Tiene poco caudal pero

llega a ascender 7 u 8 m. sobre el fondo después de las lluvias.

Pozos de la estación. Alrededor de la estación del ferrocarril se han alumbrado también algunos pozos, cuyas profundidades oscilan alrededor de los 20 m., pero todos ellos tienen un caudal muy escaso.

2. REGIMEN SUBTERRANEO

Tanto la disposición de los materiales cuaternarios en su relación con el zócalo cretácico, que integran esta zona, como las experiencias obtenidas con los alumbramientos, hacen vislumbrar la presencia de un régimen subterráneo más exhuberante que el de las zonas anteriores, aunque siempre condicionado por las características del soporte cretácico.

Al O. de la población, se reconoce un nivel freático muy constante alrededor de los 10 m. de profundidad, que suministra agua a los pozos de El Cortijo y adyacentes, nivel que evidentemente viene condicionado por la presencia de lentejones de gravas y arenas intercalados entre las arcillas, es decir que tiene un régimen bastante irregular. Allí donde el lentejón es grueso la cantidad de agua aumenta, siendo pequeña por el contrario en los lentejones secundarios. Solo de esta manera puede explicarse en el régimen freático, la importancia que en el caudal de dichos pozos tienen las galerías de drenaje, pues cuanto más extensa sea la red de galerías más probabilidades existen de cortar lentejones importantes.

Al E. de la población, en cambio, los pozos construídos, han llegado a los 20 m. de profundidad (pozos de la estación) sin encontrar niveles acuíferos explotables, lo que indica una completa independencia entre las perforaciones del O. y las del E. de la villa. Además esta independencia viene corroborada por la situación de la población sobre un morrón de calizas cretácicas que debe de aislar forzosamente estos depósitos en dos cuencas independientes, la zona oriental donde las reducidas dimensiones de su cuenca receptora determinan un avenamiento muy escaso, y la zo-

na occidental que como ya se ha indicado debe de recoger las aguas de todas las vertientes meridionales de la Sierra d' En Cona.

Estas características hidrológicas actuales tan distintas de la zona de la plataforma costera de Sitges, son la consecuencia de su desarrollo geológico, pues los materiales cuaternarios han cubierto un relieve modelado antes de la sedimentación de aquellos y en su consecuencia, las vaguadas importantes han sido rellenadas de gravas y arenas, mientras las secundarias solo contienen arcillas de decalcificación. De esta manera la zona del O. de la población, situada evidentemente sobre una antigua e importante vaguada, según se deduce tanto por la actual disposición de estos materiales en relación con el relieve, como por el carácter petrográfico del depósito, es la única que puede ser explotada, ya que la zona oriental encajada entre el morrón cretácico de Sitges y las estribaciones de la Serreta de Benaprés, ha sufrido solo un relleno local de arcillas y no posee además cuenca receptora suficientemente desarrollada para contener ningún nivel acuífero explotable.

C) *Comparación de las tres zonas y posibilidades de aprovechamiento de cada una de ellas*

Vistas por todo lo que antecede las características hidrológicas de los alrededores de Sitges, solamente queda a este respecto, concretar las conclusiones de orden práctico que de ellas se deducen.

El único material capaz de almacenar cantidades aprovechables de agua y fáciles de alumbrar, es evidentemente el cuaternario, pues la zona de calizas cretácicas, no solo tiene un régimen altamente irregular, sino que aun envía sus absorciones hacia la cuenca de San Pedro de Ribas. Por el contrario, entre la superficie de las calizas cretácicas y el cuaternario se produce una solución de continuidad que es zona de activo avenamiento y como aquella superficie, en general, está inclinada hacia la costa, es en este sentido que se produce evidentemente la circulación, acumulándose

el agua en los niveles de aluviones y arenas, sedimentados en el fondo de vaguadas precuaternarias importantes.

Así pues, para aprovechar estas experiencias, en los futuros alumbramientos de aguas en los alrededores de Sitges, habrá que tener en cuenta los siguientes puntos:

1.º Que la zona marginal de calizas cretácicas, no es apta para perforaciones de pozos y el hallazgo en ella de venas de agua, en la mayoría de los casos fortuito.

2.º Que la zona óptima es la cuenca cuaternaria que se apoya sobre las calizas cretácicas.

3.º Que estos depósitos cuaternarios fosilizan un relieve precuaternario y que es precisamente en las antiguas vaguadas de este relieve donde se hallan los niveles de brechas y arenas capaces de almacenar cantidades explotables.

4.º Que estas arenas y aluviones, están dispuestas en lentejones y no forman por lo tanto una capa continua de iguales características, lo que hará necesario en muchos casos los drenajes horizontales.

5.º Que la zona del O. de la población, alrededores de El Cortijo, es la que reúne óptimas condiciones para el alumbramiento, pues en ella se reúnen: vaguada fósil, cuenca extensa y niveles de aluviones.

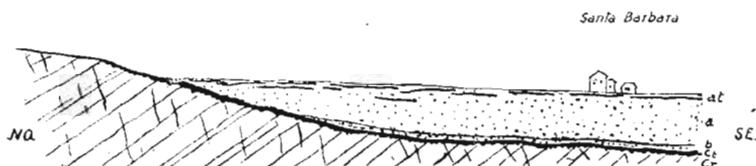
6.º Que la región NE. de la villa (alrededores de la Estación) es poco apta para alumbramientos, por ser independiente de la zona de El Cortijo y tener caracteres petrográficos diferentes.

III. EL POZO DE SANTA BARBARA

El pozo de Santa Bárbara se halla situado a 1,400 km. al NO. de Sitges, a unos 150 metros a O. NO. del manso conocido por Santa Bárbara y en el término de esta finca. Por sus inmediaciones pasa la carretera de Sitges a San Pedro de Ribas, la cual atraviesa la Sierra d' En Cona por el paraje llamado la Creu de Ribes, en

donde existen los depósitos del agua recogida en los pozos artesianos de la región de San Pedro de Ribas.

Geológicamente la finca se halla enclavada en las proximidades del contacto de la terraza alta anteriormente descrita y las calizas cretáceas de la Sierra d' En Cona. Las calizas van sumergiéndose suavemente bajo el manto de derrubios cuaternarios, el cual en su borde superior septentrional es ya muy delgado y se reduce a unos depósitos travertínicos que recubren la caliza «in situ», la cual frecuentemente aflora aun, dentro de la misma propiedad. Toda la



CORTE GEOLÓGICO DE LA FINCA "SANTA BÁRBARA"

Cr = Calizas cretácicas b = Brecha caliza
 Ct = Corteza travertínica a = Arcilla roja
 at = Arcilla travertínica.

Fig. 2

cuerda de la Sierra d' En Cona está formada exclusivamente por calizas las cuales buzcan de 40 a 50° al NO. según se observa perfectamente en la Creu de Ribes y en el cerro cota 72 m., situado al Norte del pozo. En los mismos lugares se puede apreciar con bastante exactitud la dirección de las diaclasas, las cuales forman un sistema ortogonal en el que domina la dirección N. NE-S. SO. y buzamiento de 80° al E. SE., y como subordinado, otro sistema normal al anterior.

Por consiguiente, el substrato del terreno en donde se halla enclavado el pozo y la finca de Santa Bárbara está constituido por un régimen isoclinal de calizas, en bancos delgados, que buzcan con regularidad 45° al NO.

Encima de este zócalo se extiende un manto cuaternario el cual aparece constituido por los siguientes elementos, de abajo arriba.

1. Una brecha de cemento y cantos calizos, distribuida irregularmente según el relieve que fosiliza. Espesor observado 0,30 m.

2. Capa de travertino, llamado «tapás» en el país, en capas algo onduladas o irregulares, que frecuentemente llegan a cubrir directamente la caliza del substrato. Espesor observado, de 2 m. a pocos centímetros.

3. Capa de cuaternario arcilloso-arenoso sobre el que se asientan los campos de cultivo. Espesor observado 3 m.

4. Travertino superior, mucho menos potente que el inferior, y muy irregular en su distribución, aún cuando a causa de su labor de roturación es difícil precisar su potencia, características y extensión.

Corte geológico del pozo

La boca del pozo practicado en la finca de Santa Bárbara se halla situada a 60 m. de altura y alcanza 43,5 m. de profundidad. Después de haber examinado los materiales extraídos y la sucesión «in situ» de las capas se ha obtenido el siguiente corte detallado.

0 metros. Suelo de cultivo, arcilloso, revestido en la boca del pozo.

1 metros. Arcilla roja compacta, hasta los

8 metros. Brecha arcillosa compacta, con cantos calizos, algo travertínica. Se trata de la base del nivel arcilloso de la terraza.

8,40 metros. Calizas compactas.

11 metros. Continúa el régimen de calizas, pudiendo apreciarse que buzando 50° N.

15 metros. Calizas finas, en bancos de 4 a 5 cm. de espesor, buzando también 50° N.

Se observa un sistema de leptoclasas de NE.—SO. con buzamiento de 80° SE.

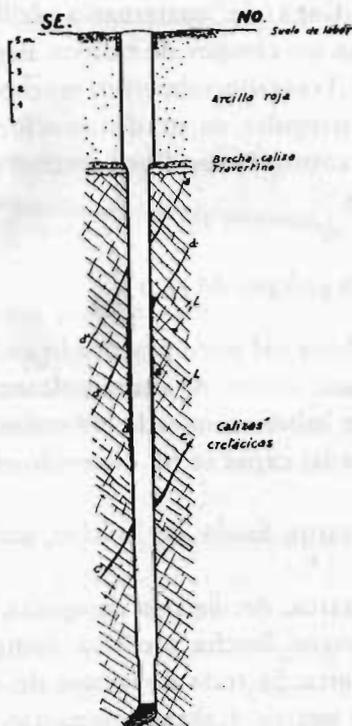
17 metros. La roca calcárea aparece recubierta superficialmente por una fina capa de arcilla de decalcificación, de 0,5 cm. de espesor, impregnada de agua de exudación.

27 metros. El manto arcilloso de decalcificación se adelgaza hasta casi desaparecer.

32 metros. Gran diaclasa de labios abiertos, formando una pequeña cavidad dirigida de NE. a SO.; con depósito de caliza incrustante.

42,5 metros. Surgencia de agua por los planos de estratificación. Altura máxima del agua en el fondo del pozo: 1 metro.

Resulta, pues, que los primeros ocho metros han sido practicados en el cuaternario arcilloso, apareciendo inmediatamente las calizas del zócalo que prosiguen ininterrumpidamente hasta la máxima profundidad alcanzada. Es de notar por su importancia hidrológica, que el buzamiento de las calizas y el sistema de diaclasas siguen el mismo régimen que en la Sierra d'En Cona.



CORTE GEOLÓGICO DEL POZO SANTA BARBARA

*d d' = Planos de diaclasas; cc = Diaclasa con depósitos de Caliza; a = Agua;
L = Lepidoclastas; a = arcilla de decalcificación.*

Fig. 3

Circulación subterránea en la cuenca de alimentación del pozo

Después de lo expuesto acerca de la constitución geológica de la Sierra d'En Cona y de su terraza de piedemonte se deduce claramente cual debe ser el régimen hidrológico de la zona estudiada.

La cuenta de alimentación se reduce en el caso óptimo a la zona comprendida entre la Sierra d'En Cona y el borde meridional de la terraza superior o sea una banda estrecha de 2 Km. de anchura.

En la práctica esta cuenca teórica de alimentación queda muy reducida a causa del buzamiento Norte de las calizas, con lo cual las aguas infiltradas de la parte septentrional de la misma se van por los planos de estratificación a incrementar la cuenca artesiana de San Pedro de Ribas. Así pues, la cuenca de alimentación queda reducida a las aguas de lluvia infiltradas a través de los depósitos cuaternarios de la parte meridional de la terraza y en la zona más inmediata al pozo y el escaso caudal que permita reunir el sistema de diaclasas de régimen Sur. Estas aguas, después de haber atravesado el manto de depósitos cuaternarios penetran en las calizas del substrato y se infiltran en ellas aprovechando las fisuras del roquedo.

Según ya se ha expuesto anteriormente, el régimen de circulación por calizas se caracteriza por la falta de un nivel hidrostático definido, por lo cual únicamente puede encontrarse el agua al cortar al azar algunos de los canales subterráneos que perforan la masa calcárea. Teniendo en cuenta que la masa de calizas queda detenida a poca distancia al Norte del pozo por la cubeta miocénica de San Pedro de Ribas, desaparece la mayor parte de probabilidades de encontrar algunos de estos conductos subterráneos. Además, dada la pequeña anchura de la cuenca de alimentación, de cortar alguno es lo más probable que fuera totalmente insuficiente para incrementar el suministro de agua potable a la población de Sitges, pues apenas serviría, en el mejor de los casos para subvenir las necesidades de la finca.

El agua reunida en el fondo del pozo procede en su mayor parte de la zona de exudación atravesada entre los 17 y 27 metros de profundidad y sobre todo de la infiltrada por los planos de estratificación de su porción final. La escasa fuerza ascendente del agua es otro indicio en favor de un dictamen negativo.

Por último es preciso señalar que teniendo en cuenta la naturaleza de la zona de alimentación, toda agua que se alumbré tendrá forzosamente un elevado grado hidrotimétrico.

IV. CONCLUSIONES

De todas las consideraciones que anteceden se deduce:

1. *Que el pozo abierto en la finca de Santa Bárbara se halla enclavado en la terraza superior de Sitges, habiendo perforado ocho metros de derrubios cuaternarios y 35,5 de calizas cretáceas, no habiendo dado hasta el presente más que un caudal insignificante de agua.*

2.º *Que a causa del buzamiento Norte de dichas calizas y del régimen hidrológico propio de los macizos calcáreos, la zona de alimentación del pozo es extraordinariamente reducida y no existe un nivel acuífero constante que pueda facilitar con garantías el alumbramiento de un caudal considerable de agua.*

3.º *Que dada la naturaleza caliza de los terrenos de la cuenca de alimentación, el agua tendrá siempre un elevado grado hidrotimétrico, haciéndola poco recomendable para la bebida.*

RÉSUMÉ

La ville de Sitges (Barcelone) est placée sur une plateforme littorale formée par des calcaires hauteriviens sur lesquelles ce sont déposés des sédiments quaternaires formés par des argiles rouges avec des travertins et des lits de graviers, surtout près de la base de la formation. Ils forment une terrasse de 50-60 m. Ce petit bassin quaternaire est limité au NW, par les hauteurs calcaires de la Sierra d'en Cona. Plus au N. encore, on trouve un petit bassin

rempli de miocén marin qui fossilise partiellement les reliefs modelés sur le Cretacé.

La circulation karstique dans les calcaires hauteriviens est dirigée au N. suivant le plongement des couches. Ces eaux karstiques se dirigent donc vers l'intérieur du massif au lieu d'aller vers la mer. Dans la couverture quaternaire, la circulation est phréatique, très irrégulière à cause de la présence de lentilles de sable et de graviers dans les argiles. La meilleure région pour les forages est celle des environs de la ferme nommée «El Cortijo».

Dans la zone des calcaires hauteriviens, près de la ferme «Santa Bárbara», on a percé un puits de 43,5 m. de profondeur coupant d'abord le quaternaire de la terrasse de 50 m. puis, les calcaires hauteriviens avec plongement au NW. de 50°. La circulation karstique très irrégulière dans la Sierra d'en Cona, ne permet pas des grands espoirs pour l'utilisation des eaux karstiques.

SUMMARY

The town of Sitges, near Barcelona, is situated on a sea-board platform of *hauterivien* limestone, which is overlaid with quaternary deposits of red clay, travertines, and gravel beds, particularly towards the base of the formation, the whole composing a terrace 50-60 metres deep. This small quaternary basin is bounded on the NW by the limestone heights of the Sierra d'en Cona. Further to north is another small basin filled with marine miocene, which partially fossilizes the reliefs moulded on the cretaceous

The karstic circulation in the *hauterivien* limestone is directed northwards by the slope of the strata. The karstic waters thus flow towards the interior of the mountain range instead of towards the sea. In the quaternary crust, the circulation is freatic and most irregular owing to the presence of sand and gravel in the clay. The most likely places to prospecting are in the neighbourhood of the farm known as «El Cortijo».

In the *hauterivien* limestone, near the Santa Barbara farm, a well

has been sunk to a depth of 43 metres, cutting through first the quaternary of the 50 metre terrace, then the *hauterivien* limestone, which is inclined at an angle of 50 degrees in a north-westerly direction. The karstic circulation in the Sierra d' en Cona is so erratic that it does not permit great hopes of making practical use of the karstic waters.

BIBLIOGRAFIA

1. *Almera (J.)* «Ojeada sobre el pasado y el presente de las costas de Garraf». *Crónica Científica*, t. XIV, n. 324, pág. 161. Barcelona, 1891.
2. *Almera (J.)* «Etude stratigraphique du massif cretacé du littoral de la province de Barcelona». *Bull. Soc. Géol. France*, 3 ser. vol. XXIII, págs. 564-571. París, 1895.
3. *Almera (J.)* «Mapa geológico-topográfico de la provincia de Barcelona, escala 1: 40.000. Región II o del Noya al mar». Barcelona, 1897.
4. *Almera (J.)* «Compte rendu de l' excursion de jeudi 6 octobre à Castelldefels et Costes de Garraf». *Bull. Soc. géol. France*. 3 ser., tom. XXVI págs 801-811. París, 1899.
5. *Carez (L.)* «Observations. Brugués et Vallirana; Costes de Garraf» *Bull. Soc. geol. France*, 3 ser. vol. XXVI pág. 823. París, 1899.
6. *Faura Sans (M.)* «Recull espeleològic de Catalaunya». Sota Terra. Club Montanyenc. Barcelona, 1909.
7. *Font y Sagú (N.)* «Excursió espeleològica a les Costes de Garraf». «La Reinaixensa», A. I, n. 120 y n. 135, Barcelona, 1896.
8. *Maureta (J.) y Tbos (S.)* «Descripción física, geológica y minera de la provincia de Barcelona». *Mem. Com. Map. Geol. Esp.* 1 vol. 487 págs., 44 figs., 8 lams. Madrid, 1881.
9. Memoria explicativa de la Hoja n. 448, Gavá, del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. 44 págs., 15 láms. Madrid, 1931.
10. *Marcet Riba (J.)* «Antigues platges fossilíferes a la costa catalana. *Trab. Mus. Cien. Nat. Barcelona*, ser. geol. vol. VIII, n. 2, 7 págs. Barcelona, 1932.
11. *Llopis Lladó (N.)* «Estudio tectomorfológico de la terminación meridional de la depresión prelitoral catalana». *Est. Geogr. t. IV.* págs. 31-111, 17 figuras, 6 láms. Madrid, 1943.
12. *Llopis Lladó (N.)* «Contribución al conocimiento de la morfoestructura de los Catalanides». Consejo Sup. Inv. Cient. «Premio Juan de la Cierva 1944». 1 vol., 372 págs , 40 figs., 22 láms. 4 maps Barcelona, 1947.

Estudio hidrogeológico de los alrededores de Caldas de Malavella (Gerona)*

POR

N. LLOPIS LLADO

I. LAS CONDICIONES GEOLOGICAS DE EMERGENCIA DE LAS AGUAS TERMALES DE CALDAS DE MALAVELLA

ANTECEDENTES

Desde hace ya muchos años son conocidos los fenómenos volcánicos de la comarca Olot y son ya numerosos los estudios que sobre esta interesante región se han llevado a cabo. De ellos se ha deducido que estas manifestaciones endógenas han sido eyaculadas a la superficie terrestre desde el interior, a través de numerosas fracturas y dislocaciones existentes en la corteza terrestre, que han depositado las corrientes basálticas y los conos de cenizas durante el plioceno y cuaternario. (7) (8) (9) (18) (19) (20) (21) (22).

Pero esta actividad volcánica preactual, se manifiesta aún en la

* Este estudio, es el resultado de los trabajos realizados en Caldas de Malavella, en dos campañas sucesivas en 1943 por cuenta de D. José Soler, a quien agradecemos la confianza depositada y las atenciones recibidas.

actualidad por la presencia en toda esta zona y regiones limítrofes, de un conjunto de emisiones hidrotermales cuyas cualidades curativas son de todos conocidas.

Sobre la plataforma granítica de la Selva, (22) las erupciones volcánicas no tuvieron tanta intensidad como en la vecina comarca de Olot, pues únicamente pequeños apuntamientos de basalto destacan en numerosos puntos de la comarca (Caldas de Malavella, San Mauricio, Santa Coloma de Farnés). En cambio las emisiones hidrotermales tienen aquí gran importancia, pues numerosos establecimientos se conocen en esta zona.

Caldas de Malavella es el ejemplo más palpable y sus aguas son de las mejor conocidas y más acreditadas. Pero aquí las aguas termales no afloran directamente a la superficie, emergiendo a través de las fracturas del zócalo granítico, sino que se ven obligadas a atravesar una formación sedimentaria integrada por diversos depósitos a través de la cual sufren una dispersión que da origen a la multitud de manantiales.

Esta circunstancia ha hecho que en todo momento se tuviera en cuenta por espíritus observadores, las posibilidades de una posible mezcla de las aguas procedentes de los manantiales termales con las aguas freáticas y de superficie, que pudieran alterar las propiedades físico-químicas del agua termal o lo que sería aun peor provocar posibles infecciones. En este sentido y previa información técnica se han realizado obras de higienización y captación en el manantial «La Mina» cuyo resultado ha sido cortar la formación sedimentaria superficial y hallar un zócalo arcósico, atravesado por diaclasas y fracturas por una de las cuales de dirección W, 20° N. aflora la emisión hidrotermal.

A) *Estructura geológica del valle de Caldas de Malavella en relación con los manantiales termales*

La villa de Caldas de Malavella está emplazada en plena comarca de La Selva en la cabecera de la Riera de Santa María o de Cal-

das y casi en la cumbre de la cuerda divisoria de aguas del Torde-
ra y del Ter.

Un relieve suavemente alomado cuyas alturas máximas no pa-
san de los 200 m. en los alrededores de la población, da a esta zo-
na una monotonía extremada. La Riera de Caldas, nace en las cer-
canías S. de la villa y vierte sus escasas aguas hacia el O. en direc-
ción a Sils. (19).

Contrastando con esa monotonía morfológica, esta zona ofrece
una gran complejidad estructural cuyo estudio viene dificultado
enormemente por los numerosos cultivos, la escasez de cortes na-
turales o artificiales y los suelos de formación reciente que ocul-
tan los materiales del subsuelo.

La Riera de Santa María divide el valle de Caldas en dos regio-
nes desde el punto de vista geológico: Zona occidental y zona
oriental.

a) *Zona occidental.*

Está integrada topográficamente por un conjunto de cerros de
escasa altura sobre los que se han establecido las masías de can
Pol, La Terrera y can Manco. Esta es la zona de materiales sedi-
mentarios descrita por VIDAL, (24) (25) el cual la consideraba in-
tegrada por tres horizontes:

1. Arenas formadas por elementos locales con gruesos cantos
graníticos en su base y fragmentos de lava.
2. Arcilla de can Pol con menilitos (ninots).
3. Arcilla grisobscura, verdosa, con restos de vegetales car-
bonizados.

El horizonte 1) ocupa principalmente el cerro de can Pol y se
puede estudiar muy bien en la trinchera del ferrocarril a unos
300 m. de la estación de Caldas. En dicha trinchera se observan
estas arenas suavemente plegadas y con marcado buzamiento ge-

neral hacia el NE. El espesor visible es aproximadamente el de la trinchera, es decir unos 10 m. Los elementos que integran estas arenas son muy variados. Predominan los graníticos, los de basalto y de lava, pero existen también pizarras en un 10 por 100. Se trata por consiguiente de un material poligénico en cuya formación han intervenido cantos de materiales muy lejanos, pues las pizarras más próximas se encuentran en la actualidad a unos 10 km. del yacente.

El horizonte 2) de Vidal, es difícil de definir, pues se confunde con el 1) y con el 3). Se encuentra en los campos de las inmediaciones de can Pol, donde se recogen menilitos (ninots) y fragmentos de tallos de dicotiledóneas silicificados.

El horizonte 3) es el que tiene más extensión y potencia. Se desarrolla principalmente entre can Pol y la Terrera, dando material a los cultivos de estas dos masias. No tiene una estratificación clara pero por apoyarse sobre las arenas de can Pol, Vidal lo dibujó buzando también hacia el NE. y seguramente tiene esta disposición. La potencia de esta capa es muy difícil de calcular dada la ausencia de cortes naturales o artificiales pero aproximadamente puede atribuírsele unos 20 m.

b) *Zona oriental*

Al E. de la Riera de Caldas la composición del suelo parece haber cambiado, pues nuevos materiales, aparentemente sin relación directa con los anteriores, hacen su aparición en el conjunto. Además, el fondo del valle está cubierto totalmente por terrenos recientes, arenas de desagregación del granito y pobres lechos de arcillas depositadas por la Riera de Caldas, de manera que la continuidad hacia el E. de las formaciones de can Pol y de La Terrera queda interrumpida por la vaguada de la Riera de Santa María. Si a esto se añade que la clara sucesión estratigráfica de la zona occidental no existe aquí y que los materiales se enriquecen con nuevos elementos, fácil es comprender que para determinar la

disposición de los estratos en esta zona se necesite de un análisis metuculoso y circunspccto. A esto hay que añadir aun que los edificios de la población cubren gran parte de los materiales superficiales, lo que constituye una nueva dificultad.

Por otra parte, esta zona es la más interesante desde el punto de vista que me ocupa, pues es en ella donde emergen las aguas termominerales, de manera que me ha sido preciso realizar un estudio detenido de estos materiales, para lo cual he aprovechado las facilidades que me ha proporcionado el señor Soler, para la exploración minuciosa de gran parte de los numerosos pozos que se han abierto para la explotación de aguas f. eáticas. Esto me ha permitido adquirir un conocimiento bastante exacto de la disposición de los materiales sedimentarios de Caldas al E. de la Riera de Santa María y de sus relaciones con las capas ya descritas de can Pol. Enumeraré sucesivamente los materiales por antigüedad y procuraré encontrar sus mutuas relaciones.

1. Granito, y sus productos de alteración.

Ya he indicado que era el granito, la roca que formaba el zócalo sobre que se asientan todos los materiales modernos de la comarca de la Selva. Así ocurre también en Caldas de Malavella, donde el granito aparece dominando la población por el NE., pues integra los cerros que circundan la villa y los sedimentos cuaternarios de can Pol, los cuales ocupan precisamente el fondo de una cubeta excavada en el fondo de esta roca.

El granito de los alrededores de Caldas es el normal reconocido en toda la Cadena Costera Catalana. Igualmente, la estructura de la masa granítica y su alteración es también la corriente en esta clase de materiales. Está pues, atravesado por numerosos diques de rocas eruptivas posteriores, principalmente aplitas, pegmatitas y pórfidos diversos y toda una compleja red de diaclasas, común en estas rocas como ya ha demostrado CLOOS. El aspecto exterior de este granito es muy distinto del que tiene la roca fresca. Sabido es ya el proceso de caolinización en virtud del cual, los feldspatos del granito se transforman en arcillas, que son fácilmente de-

rrubiadas, quedando una arena o lehm granítico más o menos compacto que en la región en general se denomina «sauló», y que en Caldas de Malavella se le da la denominación de «gresa», aun cuando creo, que esta misma denominación se aplica a cualquier arena más o menos cementada.

Esta alteración fácil del granito, ha determinado la formación de una capa de materiales de espesor variable entre 2 y 5 m. que cubre el granito doquiera este aflora. En los cerros algo más escarpados, el sedimento (gresa) ha sido derrubiado y entonces se acumula en las vaguadas, cubriéndolas. Este fenómeno ha ocurrido precisamente en el valle de Caldas, con la particularidad de que aquí, como la vaguada está cubierta por las formaciones cuaternarias ya mencionadas en can Pol, la «gresa» cubre dichos sedimentos imposibilitando su observación directa. Existen pues aquí dos tipos de «gresa». Una «gresa» «in situ», depositada sobre el granito y otra «gresa» derrubiada, mucho menos compacta depositada indistintamente sobre cualquier clase de materiales.

Estos depósitos de «gresa» se observan muy bien tanto en el propio valle de Caldas, Riera de Santa María, como al N. de la carretera de Cassá de la Selva y entre esta carretera y can Teixidor. Igualmente se perciben claramente entre can Rufi y el campo de fútbol de Caldas y también en los cerros del S. de este último punto. Toda la zona NO. de la vía férrea está ocupada también por este mismo material.

2. Arcosas.

Se trata de rocas sedimentarias cuyos elementos son eminentemente feldespáticos. En este sentido las rocas del Puig de las Moleras, no son verdaderas arcosas, sino más bien un conglomerado casi poligénico, pues entre los elementos que la componen existen pizarras metamórficas y calizas paleozoicas, además de abundantísimos elementos del granito, todos ellos de marcado carácter brechoide.

Este material está fuertemente cementado por cuarzo, lo que indica tal vez una actividad geiseriana, precursora de las actuales

emisiones hidrotermales. El cuarzo que traba los elementos de esta roca detrítica, le da una resistencia y una compacidad extraordinarias mucho mayor que la que pudiera tener el granito, que como ya he indicado en contacto con la atmósfera se altera fácilmente transformándola en «gresa».

Esta roca está atravesada por dos sistemas de diaclasas bien claros que pueden estudiarse muy bien en las canteras abiertas para su explotación en el Puig de las Moleras. Uno es de dirección NO-SE. que es el más importante y otro de dirección E-O. El primero forma haces muy apretados y en ocasiones toma aun, rumbos N-S. En las inmediaciones de can Rufi y alrededores del cementerio de Caldas, las diaclasas de este sistema, de la vertiente SE. del Puig de las Moleras, aparecen rellenas de ópalo, calcedonias y baritinas, que evidencian repito, una intensa actividad geiseriana pre-actual. El otro sistema E-O. es poco importante. Sólo algunas diaclasas aisladas lo integran y ninguna de ellas ha sido rellena por filones de especie alguna.

El tamaño de los elementos de este conglomerado es muy diverso. Estudiando las canteras del Puig de las Moleras, se observa que las capas están dispuestas en estratificación cruzada y abundan pequeñas cuñas de elementos muy finos que se introducen entre capas de elementos mucho más gruesos. Las capas finas son arenas muy micáceas, las cuales toman mucha extensión hacia el E. del Puig de las Moleras en los alrededores del cerro de la Bassa donde contienen además, restos de vegetales silicificados. En este cerro, el conglomerado ha pasado a una franca arcosa de elemento bastante fino y son muy raros los elementos de más de algunos milímetros. Estas arcosas se extienden también bajo la población de Caldas, según puede verse claramente en las calles del E. de la villa donde además se reconocen muy bien las diaclasas del sistema NO-SE. Los mismos materiales aparecen en el fondo del pozo de «La Mina», según puede comprobarse todavía en la parte no cubierta por la obra de captación.

Estas arcosas se apoyan directamente sobre el granito, como

puede verse muy bien, en la vertiente oriental del Puig de las Moleras y en el cerro de la Bassa, ya mencionado. Allí se ven estas capas suavemente inclinadas al NO. descubriendo su espesor que como máximo lo tienen de unos 20 m. Se trata pues sin duda ninguna de las capas más inferiores de la formación sedimentaria de Caldas de Malavella.

Pero estos conglomerados arcósicos del Puig de las Moleras y de los alrededores de Caldas en general, no son los sedimentos típicos, sino que como ya hemos dicho aparecen profundamente enmascarados por las emisiones silícicas hidrotermales hasta el punto de cambiar totalmente la faz de la roca, lo que hizo que un geólogo de la talla de Vidal (24, 25) las confundiera con el granito. Para encontrar las arcosas sin alteración alguna hay que alejarse bastante hacia el W. y NW., fuera ya de la influencia termal y aparecen entonces los sedimentos arcósicos extremadamente sueltos y en ocasiones fácilmente confundibles con los productos de alteración del granito, de los que en realidad proceden. De aquí que casi siempre los límites entre el basamento granítico y los sedimentos sean a veces imprecisos.

Estas rocas se extienden sobre todo hacia el E. donde enlazan con los depósitos pliocénicos de Gerona, motivo por el cual Solé (22) las situa en este período.

3. Arcillas y travertinos.

En Puig de las Moleras, el conglomerado arcósico descrito aparece desnudo de todo otro sedimento. Pero en el llano donde se asienta la población de Caldas de Malavella, se halla oculto bajo un manto de sedimentos más recientes, según lo ha puesto de manifiesto la sección observada del mismo durante las obras ya mencionadas en el Manantial «La Mina».

Este pozo que tiene la profundidad de 9 m. cortó todos los materiales superpuestos a las arcosas que de abajo a arriba son los siguientes:

1. Arenas cementadas por sílice semejantes a las de can Pol 0,5 m.
2. Arcillas gris verdosas, de aspecto turboso, muy plásticas, con restos carbonizados, cantos de lava, numerosos restos de vertebrados y lechos de travertino. 3,5 m.
3. Capa compacta de travertino. 1,5 m.
4. Arcillas claras y arenas actuales (gresa) 2,5 m.
5. Suelo vegetal.

Estos sedimentos son evidentemente cuaternarios, según ponen de manifiesto la presencia de los restos de vertebrados en los que se reconocen *Cervus* (ciervo) *Bos* (buey) y abundantes *Equus* (caballo). La presencia de restos vegetales, casi en putrefacción aún en la arcilla oscura, revela la presencia de una laguna casi ya rellena de sedimentos en la que empezó a producirse un proceso de fermentación carbónica y la consiguiente producción de turba. Esta zona, debía pues, ser en el cuaternario una turbera, dentro de la cual emergían las fuentes de Caldas de Malavella, tal como pasa actualmente en ciertas localidades como Padul (Granada) donde las aguas artesianas afloran en el turbal actual.

Estos sedimentos no están localizados en el fondo de «La Mina», sino que por el contrario se extienden hacia el O. y forman la mayor parte del basamento sobre que el está edificada la población de Caldas de Malavella. Únicamente que la edificación, los numerosos cultivos y las arenas actuales y suelos de labor, impiden o dificultan la observación directa.

Los afloramientos más claros están situados al N. de la población entre el pozo de «La Mina» y el balneario del Vichy Catalán. Los travertinos se extienden desde dicho manantial hasta la Plaza de los Pollos y el vecino manantial de Raitg d'en Mel emerge entre ellos. Igualmente el pozo de D. José Salvador, los ha cortado.

Los pozos de can Fábregas y de Can Carbó, como la mayoría, están revestidos de mampostería y no puede observarse su sección, pero en el pozo de can Banyas y en la propia plazuela de la Cár-

cel, aflora claramente el travertino, que se extiende hacia el N. hasta la próxima carretera de Llagostera y por el S., lo he seguido hasta el pozo de can Boada abierto también íntegramente en él.

La suave loma sobre la que está edificado el Balneario de Agua Imperial (San Grau) está formado íntegramente también por travertinos, los cuales quedan claramente al descubierto en las antiguas Termas romanas donde tienen capas hasta de 20 cm. de arcilla turbosa. Igualmente están cortados y al descubierto en el propio huerto situado al SO. del Balneario Imperial. No cabe la más pequeña duda de que ha sido la dureza de estos materiales, en comparación con las arcillas turbosas más blandas circundantes, la que ha proporcionado el leve relieve de la loma de San Grau.

Todavía más al O. aparece otro afloramiento de travertinos, tan claro y bien desarrollado como el de San Grau. Se trata del cerrito denominado Puig de las Animas, en el que emergen las fuentes que proporcionan el agua a Vichy Catalán, y en cuyas inmediaciones está edificado este Balneario. Este cerro, descrito ya desde hace muchos años por Vidal, en la obra ya mencionada, está integrado por una masa de travertino, en la que dicho autor distingue dos capas: una inferior muy compacta y probablemente bastante antigua y otra superior más porosa y muy reciente. Entre estas dos capas de travertino se intercalan lentejones de hasta 0,5 m. de arcillas turbosas entre las cuales se han encontrado restos de vertebrados y numerosos objetos trabajados por el hombre neolítico que también han sido descritos por Vidal. El espesor visible de estas capas travertínicas es la altura del cerro es decir unos 6-8 m. comprendidas las arcillas intercaladas.

Las arcillas gris verdosas con restos de vegetales, no son de observación tan fácil, debido a que por su plasticidad son elementos menos sobresalientes en el relieve y además dadas sus cualidades para el cultivo, constituyen muchos de los huertos del interior y de los alrededores de la población. No obstante aparecen muy claramente entre el cerro de San Grau y el Puig de las Animas especialmente en el huerto situado entre el Paseo del NE. del citado Puig

de las Animas y el camino de Franciach. Igualmente se extienden al SO. del Balneario Vichy Catalán y probablemente ocupan en estas inmediaciones la vaguada de la Riera de Santa María dada la excesiva impermeabilidad del suelo. La serie de pozos situados al S. de la población en los huertos de D. José Soler e inmediatos, probablemente cortan también las arcillas en cuestión, pues tienen todos una profundidad de 8-9 m. lo que hace sospechar que recogen las aguas freáticas drenadas por las capas de arenas superpuestas a las arcosas inferiores impermeables. Igualmente el pozo propiedad de Don Pedro Surroca situado en la otra vertiente de la Riera de Santa María, tiene 12 m. de profundidad y ha cortado únicamente arcillas sin encontrar ningún nivel freático.

Esto hace suponer que las arcillas oscuras turbosas, forman el subsuelo de la mayor parte de la población de Caldas, especialmente su región media y meridional, pues como ya he indicado en la zona norte es donde aparecen los depósitos travertínicos y las arcosas.

c) *Relaciones mútuas entre todos estos materiales*

Vista ya la clase de materiales de que se compone el subsuelo de Caldas de Malavella y su distribución superficial y vertical, cabe ahora antes de abordar el problema hidrológico, indagar las posibles relaciones entre unos y otros elementos petrográficos para poder tener claros elementos de juicio.

Enseguida salta a la vista la presencia de dos tipos de materiales completamente independientes, genéticamente y aún desde un punto de vista práctico: el granito, que constituye el basamento general, como ya se ha indicado, de la comarca de La Selva y la serie sedimentaria integrada por arcosas, arenas, arcillas y travertinos.

Ya he indicado también que la segunda serie de materiales se han formado en una turbera, desarrollada sobre una cubeta excavada en el granito, de manera que el problema estratigráfico que

se plantea inmediatamente es la relación existente entre el corte del Puig de las Moleras y la serie de can Pol, que a primera vista pueden tener caracteres algo distintos.

En efecto: recordamos que en can Pol, la serie sedimentaria empieza con arenas gruesas con numerosos fragmentos de lava y algunos cantos de granito y de pizarra, apoyándose sobre el granito y soportando las arcillas turbosas. En La Mina en cambio, sobre el granito aparece una arcosa de enormes elementos ce-

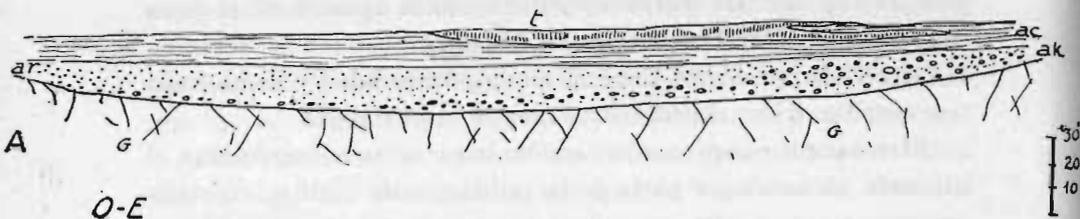


Figura 1.—Estratigrafía comparada de los terrenos plio-cuaternarios de Caldas de Malavella.

G.—Zócalo granítico. Plioceno: ak.—Arcosas de elementos gruesos y conglomerados arcóscicos. ar.—Arcosas de elementos finos y poco cementados. Cuaternario. ac.—Arcillis turbosas con melinitos y restos de mamíferos cuaternarios. t.—Travertinos con industria neolítica.

mentados por sílice, con numerosos lechos de arenas intercalados. Sobre esta roca se apoyan igualmente las arcillas turbosas. La sucesión en ambas localidades es pues la siguiente:

<u>Can Pol</u>	<u>Puig Moleras</u>
Arcillas turbosas 20 m.	Arcillas turbosas 3,5 m.
Arenas 10 m.	Arenas 0,5 m.
Granito	Arcosa 20 m.

Si se comparan ahora, los sedimentos de ambas localidades, que precisamente he escogido en primer lugar por presentar una sucesión muy clara, y en segundo lugar por ser los puntos extremos de la cubeta, se observará que en el Puig de las Moleras las arenas tienen muy poco espesor y en su lugar existe una capa de

22 m. de conglomerados arcósicos. Existe pues una modificación petrográfica lateral, de O. a E. pues en can Pol el sedimento de base es una arena y el Puig Moleras es un conglomerado. Las arcillas del segundo horizonte en cambio se conservan con los mismos caracteres pero pierden potencia hacia el E. pues de 20 m. en can Pol pasan a reducirse a 3,5 m. en el pozo de La Mina. Estos razonamientos deben de obligar a actuar con la máxima precaución y prudencia en los estudios sobre aguas freáticas o termales en el valle de Caldas de Malavella, pues en un régimen como éste, fácil es comprender que deben ser frecuentes y difíciles de localizar los caudales de aguas freáticas y numerosas las anomalías de yacimiento.

Los travertinos, desde el punto de vista estratigráfico general, desempeñan un papel muy secundario, pues, su depósito se debe exclusivamente a las aguas termales que como ya he indicado emergían, durante el cuaternario en el interior de la laguna convertida en turbera. Debido a su génesis, precisamente, están localizados en los puntos de emergencia de las fuentes durante el cuaternario que por lo visto deben de ser los mismos, casi, que en la actualidad. Además, estos travertinos están íntimamente interestratificados con las arcillas turbosas, según ha descubierto el pozo de La Mina, y según puede verse además, en San Grau (piscinas romanas) y en el Puig de las Animas.

Resumiendo, pues, la estratigrafía del sedimento de Caldas de Malavella se nos aparece de la manera siguiente; de abajo a arriba:

En la base: Granito.

1. Lecho detrítico inferior de 15 a 20 m. de potencia integrado por arenas al O. y por conglomerados arcósicos al E. de la Riera de Santa María.

2. Capa de arcilla turbosa de 4 a 20 m. de potencia.

3. Travertinos de 1 a 8 m.

La capa 1 puede situarse en el plioceno superior, dadas sus relaciones con los sedimentos ya francamente pliocénicos de Gero-

na (22); las capas 2-3 son francamente cuaternarias como lo acredita la fauna de mamíferos que contienen.

d) *Estructura actual de estos materiales*

La estructura de los materiales cuaternarios de Caldas de Malavella y su relación con el zócalo granítico es muy compleja y requiere un estudio detallado y aparte. Solamente voy a mencionar pues a continuación, los rasgos estructurales generales, y especialmente aquellos que puedan guardar relación con las condiciones sanitarias de las fuentes termales, única finalidad de todos estos preliminares.

La observación meticulosa de la estructura de cada una de las capas descritas, demuestra que en conjunto, la turbera cuaternaria de Caldas de Malavella, ha sido comprimida lateralmente, fracturada en algunos puntos y plegada en conjunto en sinclinal.

En efecto, en can Pol, las capas de arena de la trinchera del ferrocarril, buzán claramente al E-NE y el mismo rumbo deben de seguir las arcillas superpuestas. En el Puig de las Animes, las capas de travertinos y por tanto su yacente arcilloso, están completamente horizontales y en el Puig de las Moleras, las arcosas buzán claramente al O-NO. El régimen sinclinal, no puede pues, ser más claro. Además, existe una desnivelación estratigráfica y altimétrica entre las arcosas del Puig de las Moleras y la base de las arcillas del fondo del Pozo de la Mina, producida seguramente por una diaclasa del sistema NO-SE. que ha jugado como falla, hundiendo la zona occidental del Puig de las Moleras unos 8 m. Por esta microfatura afloran las aguas del manantial La Mina.

B) *Régimen subterráneo normal*

Conocida ya a grandes rasgos, pero con suficiente detalle, la estratigrafía y estructura de los materiales cuaternarios superpuestos al zócalo granítico de Caldas de Malavella, es necesario

ahora, investigar el régimen de aguas subterráneas normal, es decir las aguas freáticas.

a) *Tipos de materiales por su permeabilidad*

En el valle de Caldas de Malavella, la circulación subterránea normal es más compleja de lo que parece en realidad, pues cada uno de los cuatro tipos de materiales que he distinguido al tratar del capítulo de Estratigrafía, actúa desde este punto de vista de una manera distinta. En este sentido son permeables, las arenas de can Pol, las arcosas del Puig de las Moleras y los travertinos; son impermeables únicamente las arcillas turbosas.

Pero aún estos tres tipos de materiales permeables, se comportan cada uno de manera diferente, es decir tienen diferentes tipos de permeabilidad. Las arenas de can Pol, son el prototipo de material permeable, es decir absorben agua por *imbibición* y constituyen por lo tanto verdaderas capas freáticas.

Las arcosas del Puig de las Moleras poseen la permeabilidad que Daubreé llama «en pequeño», pues el agua tratándose de una roca compacta, únicamente puede introducirse por las fisuras, es decir que en este caso hay una verdadera «infiltración». No obstante en estos materiales, el fenómeno se realiza aún en muy pequeña escala, pues los haces de diaclasas NO-SE., que son los únicos importantes, no tienen capacidad para una absorción en gran escala. A esto hay que añadir la insolubilidad absoluta del material, pues está fuertemente cementada toda la masa con sílice, de manera que la absorción del agua por las arcosas es prácticamente nula y por lo tanto, desde este punto de vista actúa como una roca totalmente impermeable.

Finalmente los travertinos del Puig de las Animas, de San Grau y del Raitg d'en Mel, son rocas *extraordinariamente porosas y solubles*, que absorben agua en gran escala, tanto a través de sus miríadas de poros macro y microscópicos, como a lo largo de una túpida red de leptoclasas que las cruza. Es pues un tipo de absorción

mixto, en el que la solubilidad extrema de la roca, hace asimilar en todo a un tipo de circulación cárstica en su grado más superlativo.

Las arcillas, en cambio, son totalmente impermeables. Absorben gran cantidad de agua, pero una vez saturadas, rechazan nuevas cantidades e imposibilitan toda infiltración.

b) *Comportamiento de estos materiales*

Vistas las características físicas de estos materiales y su comportamiento con el agua telúrica, fácil es deducir ya, conociendo su estructura, las características que tendrá el régimen subterráneo en el valle de Caldas de Malavella.

Existen según lo que antecede, dos zonas permeables, las arenas y los travertinos separadas por una capa impermeable, las arcillas turbosas. Las arenas, dado la estructura del conjunto en sinclinal, afloran en los bordes de la cubeta (por ocupar el nivel más inferior, especialmente en el borde occidental, pues como ya he indicado hacia el E. pasan a las arcosas del Puig de las Moleras) y se hundén en el centro unos 30 m. pues en can Pol aparecen a unos 20 m. sobre el llano y se las encuentra a 8-10 metros en los pozos del interior de la población. Esto determina la formación de un nivel freático de 8-10 m. de profundidad en toda la zona oriental de la Riera de Santa María, aun con un cierto artesianismo provocado por la capa arcillosa supracente, según lo demuestran los numerosos pozos que existen en el interior de la población de Caldas, tales como son los tres pozos del Balneario Soler, los pozos del huerto del Sr. Soler y adyacentes de la Rambla y los terrenos del Sr. Rufi, que tienen todos una profundidad muy constante de 8 a 10 m. y el agua aflora hasta los 5 m. de la superficie. Esta agua por lo demás es completamente normal y no ofrece, ni por su temperatura ni por su composición, señal alguna de una posible mezcla con las aguas termo-minerales.

Los travertinos, que ocupan la zona permeable superior, tienen características hidrológicas muy diferentes. Ha sido posible cono-

cer su estructura, disposición estratigráfica y características, después de la observación detenida, no solo de los afloramientos superficiales, sino además de cuatro pozos situados a distancias convenientes y emplazados todos ellos dentro de la masa travertínica: el pozo de can Banyas (plaza de la Cárcel) pozo de can Boada (calle Pla y Daniel) Pozo Carbó (cerca de la plaza Consistorial) y Pozo Fábregas (calle Mayor).

Pozo de can Banyas. Tiene 1, 5 m. de profundidad, totalmente cortado en los travertinos que allí alternan con capas de arenas compactas. La escasa agua que actualmente se encuentra en este pozo tiene 19° C. Se desprende bastante cantidad de vapor.

Pozo de can Boada. Tiene una profundidad de 4 m. cortado completamente en los travertinos, en la capa inferior muy compacta y dura. Agua muy mineralizada a 22° C.

Pozo de Carbó. Tiene 3 m. de profundidad. Cortado también en los travertinos. Agua fría y sin mineralizar.

Pozo de D. Pedro Fábregas. Profundidad 2 m. Está revestido de mampostería, pero según referencias, fué cortado también en los travertinos. Agua fría. Algo mineralizada.

Las características del agua de estos pozos y su situación, todos ellos dentro de la masa travertínica, hace sospechar una génesis mixta, producida, tanto por el agua de infiltración, como por el agua termal. En su lugar oportuno abordaré ampliamente este problema; pero de lo que no cabe aquí la menor duda es de la presencia de una activa circulación en los travertinos, de agua de infiltración, que es absorbida por los poros del material y que circula a través de las leptoclasas que lo cruzan, deteniéndose en contacto con la capa inferior de arcillas impermeables.

Existen dos niveles freáticos: uno profundo en las arenas con agua en condiciones normales, y otro superficial, en los travertinos con agua tibia y y mineralizada muchas veces.

C) *Aguas termales*

Existen, como ya es sabido en Caldas de Malavella, tres grupos de fuentes termales situadas en la zona septentrional de la población y que denominaré, para mayor facilidad Grupo de la Mina, Grupo de San Grau y Grupo del Puig de las Animas.

Cada uno de estos grupos contiene los manantiales que expongo en el siguiente cuadro, con los aforos realizados antes de las obras realizadas en el manantial La Mina.

Grupo de la Mina

Manantial de la Mina	172,08 l./ minuto
» Raitg d'en Mel	13,08 l./ minuto

Grupo de San Grau

Manantial San Narciso	3,68 l./ minuto
» Font d'en Plá	29,64 l./ minuto
» Hospital	0,65 l./ minuto
» Raigt San Grau o Roquetas	38,16 l./ minuto
» Bullidors	13,08 l./ minuto

Grupo Puig de las Animas

Manantial del Hgado	1,26 l./ minuto
» Cantera n.º 3	2,46 l./ minuto
» Font Chica n.º 2	5,40 l./ minuto
» Surtidores o Font Gran n.º 1	23,23 l./ minuto

Todas estas fuentes emergen en los travertinos, cosa que no es de extrañar pues ya he indicado anteriormente, que estos depósitos se debían exclusivamente a las fuentes termales. Únicamente el manantial La Mina después de las obras realizadas, emer-

ge como también he indicado por la microfalla de la arcosa del Puig de las Moleras.

Las características del travertino, es decir su porosidad extrema y su sistema de leptoclasas, determinan la dispeñión del agua termal, dentro de su masa, lo que da origen a la multiplicidad de fuentes, a los escasos caudales que se han aforado en casi todas ellas, y a la diversidad de sus temperaturas.

En efecto, estas tres características de las fuentes termales de Caldas de Malavella, no pueden ser debidas a otra cosa que a la

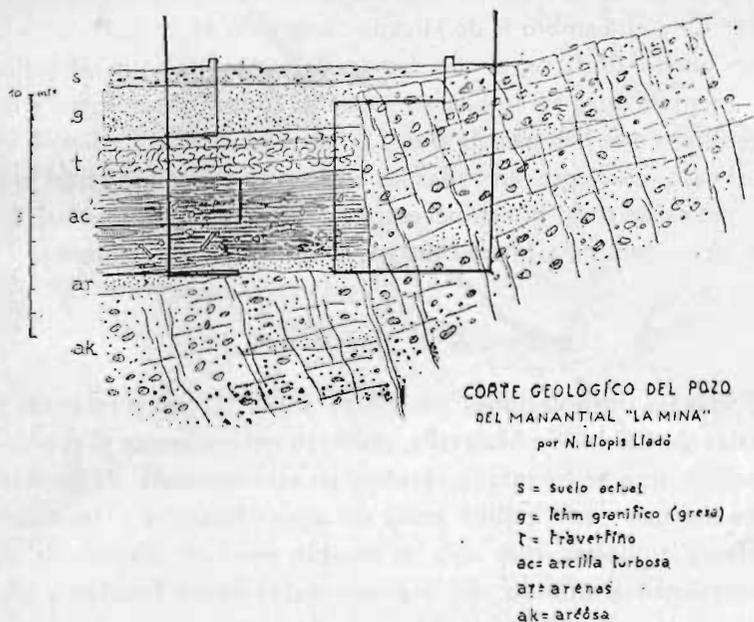


Figura 2

presencia de la masa travertínica, pues ya es sabido por las experiencias obtenidas de innumerables estaciones termales (De Launay. Eaux thermo-minerales) que los depósitos travertínicos dificultan la libre salida del agua y acaban a la larga con la obstrucción definitiva de las grietas madres, lo que obliga a los aguas emergentes a buscarse nuevas salidas.

En cuanto a las diferencias de temperaturas es una cosa clara y evidente; no hay sino comparar las distintas temperaturas de las fuentes entre sí para convencerse de ello. En el manantial La Mina antes de las obras realizadas, el agua emergía a 56° C. y ahora entre los labios de la microfalla aflora a 60° C. Las fuentes de San Grau y las de Vichy Catalán, son otro ejemplo bien patente. En la masa travertínica del Puig de San Grau, la termalidad alcanza los 56° y 58° C. para los manantiales de agua Imperial, mientras los pozos de can Banyas y can Boada alcanzan solo 19° y 22° C. respectivamente. En el Puig de las Animas, todas las fuentes alcanzan los 58° C. y en cambio la de Hígado tiene solo 48,3° C.

No puede dudarse, por lo demás, del origen común de todas estas fuentes, pues así lo han atestiguado todos los geólogos e hidrogeólogos que han pasado por Caldas de Malavella y además, es este el caso corriente en todas las estaciones termales, de tal manera que es de todo punto necesario, *atribuir estas características diversas, de composición y termalidad a causas distintas de las genéticas.*

D) *El problema de las aguas termales de Caldas*

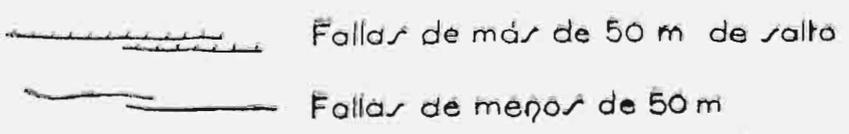
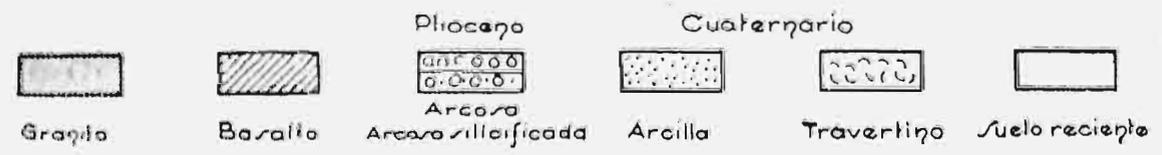
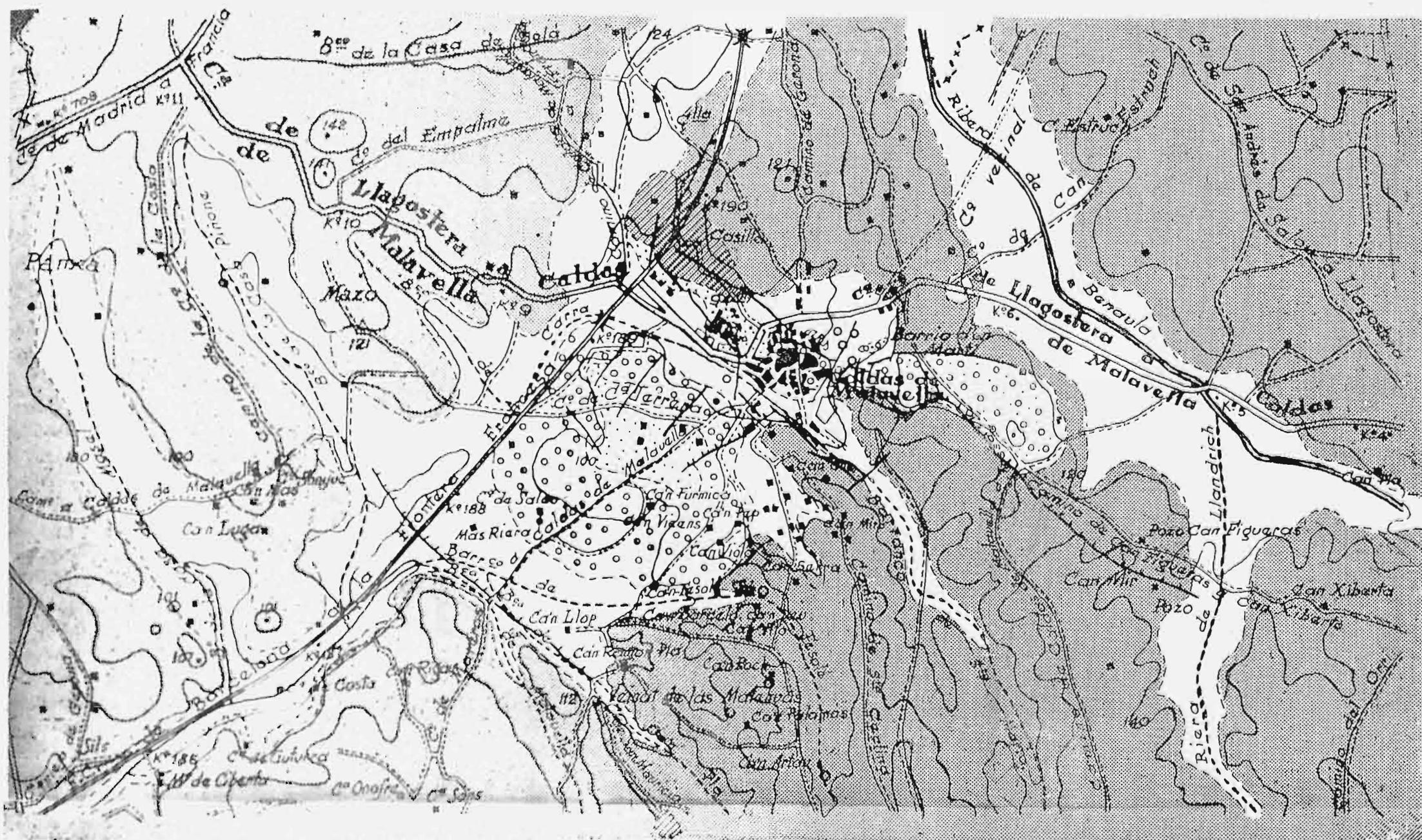
Todas las observaciones anteriores sobre las aguas freáticas y termales de Caldas de Malavella, plantean naturalmente el problema básico, que he intentado resolver en esta memoria, de las relaciones mútuas entre ambos tipos de agua (freáticas y termales) problema complejo, que sólo es posible resolver después de un conocimiento profundo del régimen subterráneo freático y termal *para el caso particular de Caldas de Malavella*, pues no es posible aplicar consideraciones de carácter general a estos complejos problemas hidrológicos.

Voy pues, a continuación, intentar resolver, a que se deben estas diferencias de composición y termalidad de Caldas de Malavella, entre manantiales tan próximos y de características tan semejantes.

MAPA GEOLOGICO DE LOS ALREDEDORES DE CALDAS DE MALAVELLA

POR

N. LLOPIS LLADO



ESCALA 1:25000

Fig. 3

a) *Generalidades sobre la mezcla de líquidos a diferente presión, tempe-
ra y salinidad*

Ante todo para poder abordar con éxito este problema es necesario estar en antecedentes sobre las generalidades de mezcla de líquidos con caracteres físicos distintos.

Es ya sabido, que cuando dos líquidos a diferente concentración se ponen en contacto, se establece un intercambio entre ambos en virtud del fenómeno denominado *difusión*, fenómeno que tiende a poner a ambos líquidos a la misma concentración y que cesa cuando se alcanza la isotonía.

En cambio, poniendo en contacto dos líquidos a igual concentración, pero a diferente presión, no hay mezcla; es el conocido caso de las fuentes artesianas, que emergen en las vaguadas de los ríos y en el centro de los lagos. No obstante si la masa de agua suprayacente es lo suficientemente espesa, para que su presión hidrostática equilibre la presión de la fuente ascendente, se produce la mezcla y el manantial no aflora en superficie. (Principio de las presiones hidrostáticas recíprocas).

Si se ponen finalmente en contacto, dos líquidos a distintas temperaturas, se produce igualmente una mezcla que tiende a dar al conjunto una temperatura media entre ambas extremas.

Todas estas generalidades son aplicables de una *manera absoluta*, únicamente en el caso del *agua libre*, es decir, circulando a través de tubos y sujeta exclusivamente a las leyes de la gravedad, y a los escasos rozamientos marginales, pero evidentemente cada uno de estos ejemplos se complicará cuando el líquido en lugar de circular a través de tuberías lo haga en una masa porosa tal como es una roca permeable.

Por otra parte, se complicará también enormemente cada uno de estos fenómenos generales descritos, si se ponen en contacto dos líquidos que reúnan a la vez, las tres características distintas, es decir, que estén a diferente salinidad, presión y temperatura, pues mientras las diferencias de presión tenderán a una separación

de ambos líquidos, las diferencias de temperatura y de salinidad tenderán a una mezcla.

Si ahora concurren en los dos líquidos en contacto, los dos grupos de condiciones, es decir, que tengan distinta presión, salinidad y temperatura y no circulen libremente sino en el interior de una masa porosa el fenómeno será extraordinariamente complejo. Este es precisamente el caso de Caldas de Malavella y el de la mayor parte de las estaciones termales.

En todas las estaciones termales estudiadas, existen fuentes a distintas temperaturas. De tal manera es general el caso que se ha hecho el esquema de la estación termal ideal, distinguiéndose en ella tres zonas de mineralización y termalidad: 1.º Una zona más profunda y central, con agua a la máxima temperatura y mineralización; 2.ª Una zona más elevada y media con agua a menor temperatura y mineralización y 3.º Una zona superficial y más externa con agua a escasa mineralización y temperatura. En todos los casos se atribuyen estas tres zonas precisamente a las proporciones de aguas superficiales que llevan mezcladas a cada una de ellas. Así mientras la zona central y más profunda tendrá un 80 por 100 de agua termal y un 20 por 100 de agua superficial, la zona externa tendrá sólo un 10 o 20 por 100 de agua termal y un 80 o 90 por 100 de agua superficial. La zona intermedia será realmente la media entre ambas y todavía en una zona más profunda no habrá mezcla (principio de las presiones hidrostáticas recíprocas). Entonces esta aureola de agua mezcla de termal y superficial, aísla de todo contacto exterior al agua termal más profunda, procedimiento que ha sido aplicado artificialmente en diversas naciones de Europa y América para aislar las aguas termales de posibles contaminaciones de aguas superficiales.

Como se ve, pues, según las anteriores consideraciones, extraídas de la experiencia y del estudio de múltiples investigadores, físicos e hidrólogos, la mezcla de agua superficial y termal es en el 98 por 100 de los casos *no solo posible, sino inevitable*. Voy ahora, a

analizar el caso particular de Caldas de Malavella, para ver las posibilidades de la mezcla.

b) *La circulación de agua termal y superficial en la masa de travertinos de Caldas de Malavella*

Existiendo, según ya he indicado, en el valle de Caldas de Malavella, dos zonas de infiltración, las arenas inferiores y los travertinos superiores, hay que prever la posibilidad de una mezcla en ambas capas.

Las arenas inferiores, ya he dicho que constituyen una capa freática que se aprovecha y explota en el subsuelo de Caldas, por medio de numerosos pozos, algunos de los cuales he mencionado ya. El agua de este nivel freático, como también ya he indicado, es completamente normal y no ofrece señal alguna de mineralización y por tanto de mezcla. Tal vez no sea ajeno a este fenómeno el paso de las arenas a arcosas hacia el E., lo cual haría cambiar las características físicas de la roca y por tanto su permeabilidad. (Ya se ha indicado también que las arcosas son prácticamente impermeables). No existe pues, según esto, posibilidad de mezcla de las aguas de esta zona, con las termales, por lo menos en gran escala.

El problema, debe pues resolverse en la zona superior travertínica, donde la presencia de agua mineralizada y a diferentes temperaturas hace sospechar un posible intercambio físico entre las aguas termales y las superficiales.

Ya he indicado oportunamente, el comportamiento del travertino con el agua superficial, imbibiendo e infiltrando, dada su porosidad y su fisuración. De esto resulta que el travertino es una roca eminentemente permeable, pues posee los dos tipos de absorción (imbibición e infiltración) dando por resultado, que puede compararse a una verdadera esponja. Una inyección de agua termal dentro de un medio semejante provoca un complejo de fenómenos físico-químicos, de los cuales, los más elementales son los siguientes:

1.º Pérdida inmediata de la presión primitiva, al vencer la resistencia que le opone la masa empapada, de travertino.

2.º Dispersión de la inyección termal a través de las leptoclasas y de los poros del medio envolvente.

3.º Circulación, a presión ordinaria, del agua termal por el interior del travertino.

4.º Difusión del agua termal con la telúrica, existente ya en el travertino y mezcla consiguiente.

Estas consideraciones vienen corroboradas por una serie de observaciones:

1.º Todos los manantiales que emergen en los travertinos, tienen una presión muy escasa. Apenas emergen de entre sus depósitos, perdiendo todos sus gases entre los poros de la masa envolvente. Por el contrario el manantial La Mina, que emerge libre de todo obstáculo, lo hace a presión tan grande en comparación con los demás manantiales, que de no mantener una depresión determinada sobre el punto de emergencia, quedarían los demás en seco como ya ha demostrado la experiencia; no cabe pues la menor duda que esta pérdida de presión se debe a la necesidad de atravesar la masa de travertinos que hace emerger las fuentes a un nivel 1,2 o 3 m. más elevado que el normal.

2.º Que al pasar la inyección termal por el travertino hay dispersión, no cabe tampoco la menor duda. La prueba más concreta es la multiplicidad y la proximidad de los manantiales. En el Puig de las Animas aparecen cuatro manantiales en una superficie de unos 150 metros cuadrados. En San Grau ocurre otro tanto.

3.º Esta dispersión origina la disgregación de la columna líquida inyectada, en una serie, de masas independientes, de las cuales, las que conservan el máximo de presión, llegan a la superficie dando origen a manantiales. Las otras aprovechan la porosidad del travertino y se difunden en superficie, lo que da origen a una mezcla con aguas de superficie de que está empapado el travertino y el posible alumbramiento de pozos, que como los de can Banyas y

can Boada tienen mineralización y termalidad por tener por lo menos un 30 por 100 de agua termal o como los de Can Fábregas que solo tienen una ligera mineralización por tener solo un 3 o 4 por 100 de agua termal. Condiciones particulares de infiltración, pueden producir también, la emergencia de agua mezclada, como es el caso de la Fuente del Hígado del Puig de las Animas.

De todas estas consideraciones puede sacarse una conclusión:

Las aguas termales de Caldas de Malavella, al emerger entre la masa de travertinos, pierden presión, y se difunden por la masa envolvente, mezclándose claramente con las aguas de superficie.

CONCLUSIONES GENERALES

Todo lo expuesto y analizado en los anteriores capítulos, me permite, pues sentar, de una manera definitiva y concreta, las siguientes conclusiones:

1.^a En el valle de Caldas de Malavella, existen dos niveles de absorción de las aguas superficiales: uno formado por las arenas inferiores que se apoyan sobre el granito, y otro constituido por una masa de travertinos superpuesta a arcillas turbosas impermeables.

2.^a El nivel freático de arenas, es completamente independiente de la circulación hidrotermal. El agua aparece en las condiciones normales en los numerosos pozos que se nutren del mismo.

3.^a El nivel de calizas travertínicas es enormemente poroso, y por tanto permeable, absorbiendo agua superficial en gran escala, la cual es detenida por el nivel de arcillas impermeables subyacente.

4.^a Las aguas termales que emergen entre estos travertinos, al atravesarlos pierden presión y se dispersan en la masa envolvente apareciendo en la superficie, únicamente los que conservan la presión más elevada.

5.^a En la masa de travertinos, el agua termal, falta de presión se difunde con el agua superficial resultando de aquí una mezcla,

perfectamente clara en algunos manantiales y pozos (Fuente del Hígado, Pozos d'en Banyes y de can Boada).

6.^a Las aguas superficiales de la masa de travertino pueden contaminarse fácilmente dadas las escasas condiciones que para la filtración poseen los travertinos, y por tanto puede también ser posible una contaminación de la mezcla.

7.^a Esta mezcla de ambas aguas, produce inevitablemente la alteración de la termalidad y composición de las aguas minero-medicinales originarias.

8.^a Donde no existe la masa de travertinos, o se ha limpiado artificialmente (Manantial La Mina), no existe evidentemente, peligro de contaminación ni de alteración físico-química alguna del agua minero-medicinal.

II. ESTUDIO HIDROTECTONICO DEL VALLE DE CALDAS DE MALAVELLA

ANTECEDENTES

En la primera parte de este estudio se indicaba solo de una manera somera la estructura profunda del valle de Caldas pues como ya he indicado se trataba solamente de la investigación del régimen subterráneo superficial. En él, omití pues, importantes detalles sobre la tectónica de los alrededores de Caldas de Malavella estrechamente relacionados con la génesis y especialmente con la emergencia de los manantiales hidrotermales.

Así pues, el objeto de la segunda parte es la descripción de la estructura tectónica del valle de Caldas de Malavella y su relación con los afloramientos termales de dicha villa.

METODO DE TRABAJO

El estudio estructural de Caldas de Malavella, ofrece evidentemente múltiples dificultades. Cualquier geólogo ejercitado se da

cuenta inmediatamente de ello, pues escasean los cortes naturales, casi todos los alrededores están cultivados, los materiales que forman el valle tiene una plasticidad morfológica semejante lo que da un relieve sin contrastes y finalmente la estructura de detalle es de la máxima complejidad.

En estas condiciones, fácil es comprender que un estudio estructural no puede verificarse por los métodos ordinarios, pues darían resultados totalmente negativos. Hay que acudir a otros procedimientos, que nos revelan los más insignificantes detalles tectónicos, necesarios para llegar a conclusiones concretas.

Los únicos accidentes tectónicos visibles están localizados en el Puig de las Moleras, consistentes en claras fracturas y dos sistemas de diaclasas de rumbo que atraviesan las arcosas de dicho cerro. En el resto de la región, las dislocaciones son, naturalmente, deducidas y aun probablemente existen otras que no represento en los mapas por ser dudosas y cuya única localización sería a base de sondeos.

Además, la mayoría de estas dislocaciones son microfacturas, de manera que para deducirlas he necesitado un plano de precisión de la villa de Caldas de Malavella, que me ha proporcionado el ya mencionado Sr. Soler, plano levantado por D. Maximino Giner Domenech, ayudante facultativo de Minas, a la escala 1: 1000. Para los trabajos del exterior de la villa he utilizado una ampliación del Mapa Nacional a 1: 50000, a la escala 1: 25000.

He comenzado, por realizar una meticulosa inspección de los productos de alteración de los diferentes materiales que componen los alrededores de Caldas de Malavella, con objeto de poderlos reconocer en los cultivos mediante calicatas de 20 a 30 cm. Seguidamente he afinado la estratigrafía de la región, especialmente la parte que se refiere a espesores, dato importante para deducir los accidentes tectónicos. A continuación he utilizado los métodos de microtectónica, empleados modernamente y que me ha dado un resultado excelente en este caso. Mi querido amigo y com-

pañero, D. José M.^a Fontboté me acompañó durante los trabajos, colaborando eficazmente en la realización de los mismos

A) *Datos estratigráficos*

En la primera parte de este trabajo «Las condiciones geológicas de emergencia de los manantiales termales de Caldas de Malavella», se dan ya los datos estratigráficos completos de la villa de Caldas de Malavella y de sus alrededores, de manera que aquí sólo haré recordar las características de conjunto y, particulares de sus materiales, para poder luego investigar con éxito su estructura.

El valle de Caldas de Malavella, está excavado en una cubeta modelada en el granito, roca que forma el zócalo de la depresión de La Selva. En esta cubeta, durante el plioceno y cuaternario se instaló una turbera, en la que primeramente se depositaron arenas y conglomerados con lechos interestratificados de limonita (hierro de los pantanos). El carácter grueso o fino de los elementos del sedimento, dependía naturalmente de la mayor o menor proximidad a los arroyos que cedían sus aguas a esta laguna. Poco a poco, los sedimentos aportados fueron rellenándola, depositándose entonces arcillas y transformándose la laguna en un «atolladero» en el que caían diversos animales, muriendo en él, como pasa actualmente en ciertas regiones del N. de Francia y Holanda. Los restos de la industria humana que se han encontrado en el Puig de las Animas (Vidal) (22) y en otros puntos (Font y Sagué) (15-16-17) eran probablemente restos abandonados en las proximidades del atolladero arrastrados allí por la lluvia o tal vez llevados por el mismo hombre neolítico, muerto también prisionero de las arcillas movedizas.

Simultáneamente a esta sedimentación, las fuentes termales estaban ya en actividad, pero entonces aparecían dentro de la turbera, como ocurre hoy en ciertas regiones de España con fuentes artesianas. (En la turbera de Padul, Granada, afloran fuentes artesianas que llaman «ojos»). Las concreciones de ópa-

lo menilito de Can Pol (ninots) demuestran que las fuentes termales estaban ya en actividad cuando se depositaron las arenas inferiores. La actividad continuó durante el depósito de las arcillas pues éstas tienen interestratificadas capas de calizas travertínicas muy compactas, que culminan en los depósitos de más de 5 m. del Puig de las Animas y de San Grau. Probablemente, las primeras emisiones fueron de tipo geiseriano y las últimas ya francamente hidrotermales.

Así pues, en líneas generales, la turbera quedó rellena con tres estratos de naturaleza distinta: 1.º Un lecho de arenas y conglomerados, 2.º Una capa de arcilla turbosa y 3.º Una capa superior de travertino que alterna en su base con las arcillas.

a) *Los conglomerados y arenas de la base*

Los sedimentos de la base de la laguna difieren realmente algo en sus características físicas, según el punto donde se les examine. Hacia el E. predominan los materiales de elementos gruesos y hacia el O. en cambio se hacen más finos pasando a verdaderas arenas. Este carácter tan diferente de unos y otros materiales y la transformación que por la influencia de las aguas termales han sufrido los conglomerados del E. de la cubeta, hizo que los primeros geólogos que pisaron el valle de Caldas de Malavella como Vidal y Font y Sagué, considerarán estas capas como un material eruptivo y a las arenas de Can Pol como un sedimento lacustre. No obstante un estudio estratigráfico meticoloso revela las evidentes relaciones que existen entre unos y otros.

Al NO. de la casa de Bassa (SO. carretera de Llagostera) aparece claramente el contacto normal de los conglomerados con el granito. La sucesión desde la vaguada del barranco hasta la cumbre del Puig de las Moleras, de abajo a arriba es la siguiente:

1. Arenas finas amarillentas, bien cementadas, con lechos interestratificados de limonita 5 m.

2. Arcosa fina muy desagregada con menos limonita. 2 m.
3. Arcosas granudas muy compactas blanquecinas, con restos de vegetales silicificados. 3 m.
4. Arcosas muy finas, grisáceas con biotita. 2 m.
5. Conglomerado arcósico con gruesos elementos brechoideos de granito, aplitas, pórfidos, micacitas, y calizas paleozoicas 15 m.

Esta última capa es la que integra en casi su totalidad el Puig de las Moleras. No obstante, como los estratos, aunque no tienen una buena estratificación, se adivinan inclinados hacia el NO. y además la accidentación tectónica les hace tomar en ocasiones rumbos aberrantes, aparecen diferentes niveles de estos materiales según el punto del Puig de las Moleras en que se observan.

En las inmediaciones de Coll de Vehinat Alt y en general en todo el borde N. del Puig predominan los materiales granudos del nivel 3. En cambio en la vertiente S. y en la NO. en las canteras de la población de Caldas, abundan los materiales gruesos del nivel superior. En este último punto las arenas finas del nivel 4, aparecen interestratificadas, formando pequeñas y numerosas cuñas entre los materiales del nivel 5. Los cortes artificiales de las canteras son bien explícitos a este respecto.

El nivel grueso 5 del Puig de las Moleras está atravesado por dos sistemas de diaclasas que ya describiré. En cambio los niveles de la base, especialmente el nivel 1, no posee más que algunas diaclasas, de los mismos rumbos que el nivel 5, pero mucho menos numerosas. Este hecho se debe a la diferencia de plasticidad entre ambos elementos estratigráficos, pues mientras las arenas de la base son relativamente sueltas y tienen lechos de limonita que aumentan su plasticidad, los conglomerados del nivel 5, son enormemente rígidos, por estar sus elementos cementados con sílice de génesis hidrotermal. Esto lo transforma en una roca de una dureza y una compacidad extraordinaria dentro de su tipo.

El otro corte bueno de los sedimentos basales, está el SO. de

ja Riera de Caldas, en los cerros de Can Pol, La Terrera y can Furmica. Entre esta última casa y can Salou, se encuentra el contacto del material de base sobre el granito, pero es difícil de precisar a consecuencia de la disgregación del granito que permite ser confundido fácilmente con la arcosa. Subiendo desde can Salou, por el camino de Moreras a Caldas de Malavella aparecen de abajo a arriba los siguientes niveles:

1. Arenas amarillentas, con lechos de limonita interestratificados. 2 m.
2. Arenas amarillentas con lechos de limonita y delgadas hiladas de arcilla interestratificadas. 2 m.
3. Arcillas oscuras turbosas con restos de vegetales. 8 m.

En el cerro de can Pol, las arenas de la base no aparecen concordantes sobre el granito, sino que se ponen en contacto con él por medio de una fractura. No obstante la base no debe de estar muy profunda. De abajo a arriba es como sigue:

1. Arenas amarillentas con abundantes lechos de limonita interestratificados y bastantes elementos gruesos de granito y micacitas. 10 m.
2. Arenas amarillentas con limonita, y delgadas hiladas de arcillas. Sobre can Pol, tiene este nivel abundantes menilitos (Camp dels ninots) 2 m.
3. Arcillas oscuras turbosas. 8 m.

Las arenas amarillentas inferiores forman una ancha faja que limita por su base los cerros de can Pol y La Terrera. En la vaguada de la Riera de Caldas estos materiales están cubiertos por aportaciones recientes que enmascaran la composición del subsuelo.

El último afloramiento interesante está situado frente la estación de Caldas de Malavella, al lado de la vía del ferrocarril y a unos 2-3 m. de desnivel con respecto a ésta. Allí aparece un corte

de 2 m. de profundidad en total, en el que de abajo a arriba se distinguen muy bien los siguientes horizontes:

1. Conglomerado arcósico poco cementado con cantos de hasta 10 cm. de diámetro principalmente de granito y un 5 por 100 de pizarras metamórficas. 0,50 m.
2. Arcilla gris azulada muy micácea. 0,10 m.
3. Grava de elementos graníticos 0,30 m.
4. Arena granítica 1 m.
5. Suelo actual 0,20 m.

Todavía existen otros afloramientos de materiales basales en el territorio de Caldas de Malavella, pero están todos constituidos por conglomerados arcósicos cementados con sílice como los del Puig de las Moleras. En las calles E. de la villa, calle Pequeña, Plaza Pequeña, Calle y Plaza de los Pollos, hasta la calle Mayor y parte de la Plaza Consistorial, afloran claramente los conglomerados arcósicos análogos a los del Puig de las Moleras. Siguiendo el camino que sirve de continuación NE. a la calle Pequeña y que corta a la carretera de Llagostera, a pocos metros de las primeras casas del Vehinat d' en Martí, aparecen también arcillas en el terreno de cultivo de D. José Soler y en el cruce con la carretera de dicho camino en terreno propiedad de D. Benito Colomer, afloran las arcillas según ha descubierto una calicata reciente de 1 m. de profundidad. Aquí pues, las arcillas, se apoyan claramente sobre los conglomerados arcósicos.

Todos estos datos permiten llegar a conclusiones por lo que se refiere a la estratigrafía de conjunto de la cubeta plio-cuaterna-ria de Caldas de Malavella.

Ya hemos visto que al E. del Puig de las Moleras, la serie detrítica que forma dicho cerro, se apoya normalmente sobre el granito. El material de la base es enormemente parecido, casi idéntico a las arenas de C. Pol. Los mismos elementos y con las mismas características, los mismos lechos de limonita interestratificados, la

misma ausencia de diaclasas en ambos depósitos. Únicamente que en el Puig de las Moleras estas capas tienen 5 m. escasos y en can Pol, el mismo nivel alcanza más de 10 m. Pero esto no es obstáculo para identificar ambos niveles, pues en un régimen lagunar con depósitos de acarreo, fácil es comprender que los sedimentos deben de tener variaciones laterales bien aparentes. Por otra parte al NE. de can Salou, donde las capas de arenas amarillentas con lechos de limonitas, son también normales sobre el granito, no tienen sino 2 m. de potencia. Estas arenas tienen pues su máximo espesor en can Pol, disminuyendo hacia el S. y hacia el SE. Así pues, los 12 m. de arenas de can Pol equivalen a los 27 m. de sedimento del Puig de las Moleras y a los 2 m. del camino de C. Salou.

b) *Las arcillas y los travertinos*

Al estrato basal de arenas y conglomerados arcósicos, se superpone siempre, como ya he indicado una capa de arcilla, gris-azulada, muy oscura con numerosos restos de vegetales carbonizados y abundantes fragmentos de huesos de vertebrados y restos de la industria neolítica.

Los primeros restos, fueron citados por Vidal, (24) consistentes en fragmentos de un cráneo humano y restos de molares y astas de *Cervus elaphus*, molares de *Bos taurus*, *Equus asinus*, *Equus sp.* y *Sus sp.*

En el cerro de San Grau, durante las excavaciones realizadas en la piscina romana, hoy descubierta, cita Font y Sagué (17) con los travertinos las especies siguientes: Fragmento incompleto de un cráneo humano; diversas mandíbulas y dientes de *Cervus elaphus*, pertenecientes a varios individuos de diversa talla; muchos fragmentos de asta; fragmento de mandíbula inferior de *Capreolus capreolus* Piezas dentarias y fragmentos de mandíbula de *Sus scropha*. Fragmento de mandíbula y varios molares de *Equus caballus* y varias piezas dentarias y cuernos *Bos taurus*.

En las obras efectuadas por D. José Soler en el manantial La

Mina fueron hallados diversos fragmentos de huesos que estudiados han dado las siguientes especies:

Equus equus L. (caball). Un fragmento de mandíbula y numerosos molares sueltos.

Cervus elaphus L. numerosos molares sueltos. (Ciervo).

Bos taurus L. (toro). Molares y un cuerno.

Rhinoceros sp. (rinoceronte) un molar.

En las inmediaciones del pozo de La Mina, todavía quedan numerosos fragmentos de caliza travertínica que fueron arrancados durante la perforación. En ellos se ven aun empastados por el cemento calizo numerosos restos de huesos, que forman en ocasiones verdaderas brechas huesosas. Esto hace pensar en el origen de estos travertinos a los que hasta ahora se ha atribuído siempre génesis hidrotermal, pues el hecho de tener empastados huesos de vertebrados se aviene mal con el depósito hidrotermal, y parece más de acuerdo con una génesis sedimentaria normal, ya que por otra parte estos materiales son muy frecuentes en todas las cuencas lacustres actuales y fósiles (Capellades y Bañolas). Además, estos depósitos no forman conos, como los dibujados por Font y Sagué (16) y Bataller (4-5) sino verdaderos estratos entre los que se intercalan lechos delgados de arcillas. En todo caso podría provenir el material de estos depósitos (Anhídrido carbónico y bicarbonato cálcico) de las fuentes termales aflorando en la turbera, pero una vez precipitado se depositaba alternando con las arcillas, de una manera completamente normal.

El espesor de las arcillas y aun de los travertinos, varía también considerablemente de unas zonas a otras de la cubeta. En el pozo de la Mina se cortaron solamente cuatro metros de arcillas y una capa de un metro de travertino. En los cerros de San Grau y Puig de las Animas, los depósitos travertínicos no llegan a 5 m., de manera que su potencia ha sido siempre exagerada.

En los cerros de can Pol las arcillas tienen una potencia difícil de evaluar con exactitud, pues están plegadas y no existe ningún corte natural que permita una medición concreta. No obstante es

MAPA HIDROGEOLOGICO DE CALDAS DE MALAVELLA

POR

N. LLOPIS LLADO

1943

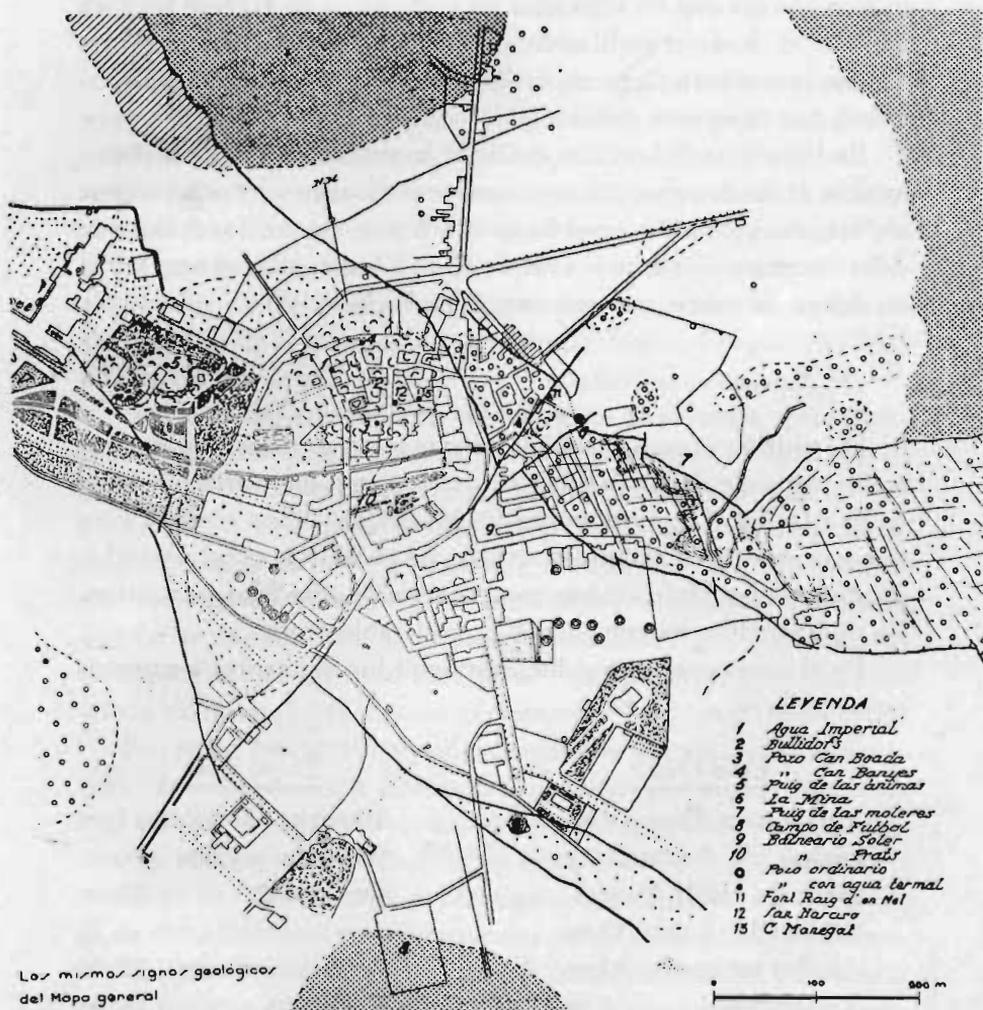


Fig. 4

evidente que Vidal, creyendo toda la serie sedimentaria de can Pol, con buzamiento suave hacia el SE., exageró la potencia de esta capa evaluándola en 15 m. Yo mismo en la primera parte de este trabajo le atribuía 20 m. llevado por la idea de Vidal, pero ahora me inclino a creer que no llega a los 10 m. El pozo de D. José Surroca situado al S. de la población, margen occidental de la Riera de Caldas, ha cortado 12 m. de arcilla que debe de ser la máxima potencia que tiene este material.

En los pozos de las casas del S. de la población, donde la distribución de los terrenos hace sospechar se encuentren también estas arcillas, se explota un nivel freático a 8-9 m. de profundidad que debe corresponder a las arenas de C. Pol. Las arcillas superpuestas no deben de sobrepasar pues aquí mucho los 6 m.

c) *Resumen estratigráfico*

De todo lo expuesto se deduce que los materiales plio-cuaternarios del valle de Caldas de Malavella, sufren una variación fásica de E. a O. En el E. predominan los niveles detríticos gruesos y no se encuentran en cambio las arcillas. En el W. los conglomerados del Puig de las Moleras han pasado a arenas más finas y la potencia de las arcillas ha aumentado considerablemente.

En el conjunto se pueden distinguir los siguientes elementos estratigráficos:

<u>En el Oeste</u>	<u>En el Este</u>
Arenas amarillentas con hechos de limonitas y capas de arcilla interestratificada 12 m.	Arenas con limonitas 5 m.
Arcillas turbosas 10 m.	Serie de arcosas y conglomerados 22 m.
Travertinos 5 m.	Arcillas turbosas 22 m.
	Travertinos 1 m.

B) *Estructura tectónica del valle de Caldas*

Los datos estratigráficos que anteceden son del todo indispensables para poder comprender la compleja estructura tectónica del valle de Caldas de Malavella y su relación con las características y evolución de las fuentes termales que en ella emergen.

El valle de Caldas de Malavella forma parte de la extensa comarca natural denominada La Selva, tectónicamente zona hundida entre la Cordillera Costera Catalana, la Cordillera Prelitoral y la sierra de las Gavarras. Forma por consiguiente parte de la extensa zona de hundimiento que desde el campo de Tarragona sigue paralelamente a la costa catalana y que se ha denominado «Depresión Prelitoral Catalana» y de la cual forman parte, las comarcas del Campo de Tarragona, depresión de Vallés, Penedés, Vallés y finalmente La Selva.

Se trata por consiguiente de una zona de mínima resistencia, una dovela hundida y limitada por enormes líneas de falla que siguen sensiblemente la dirección general NE.-SO. Pero no es raro encontrar en esta zona de depresión otras fracturas dirigidas en dirección sensiblemente ortogonal a esta, es decir NO-SE que cortan transversalmente la región hundida, en bloques transversales que en ocasiones han actuado independientemente. Forma pues en conjunto esta estructura de fallas «en enrejado» muy característica de las regiones de tipo germánico del antepais alpídico.

Por estas fracturas han sido eyaculadas del interior de la corteza terrestre diversos productos. Los más aparatosos son enormes coladas basálticas y conos de cenizas que forman los volcanes. La vecina comarca de Olot es la zona donde estas erupciones recientes han llegado a su grado álgido. No obstante a todo lo largo de estas fracturas tanto principales como secundarias, se alinean, jalonándolas en ocasiones, cúpulas de basaltos, coladas y en mayor escala fuentes hidrotérmicas o a veces aun simplemente mineralizadas o ricas en anhídrido carbónico.

A) *La macrotectónica del valle de Caldas de Malavella y las emisiones volcánicas*

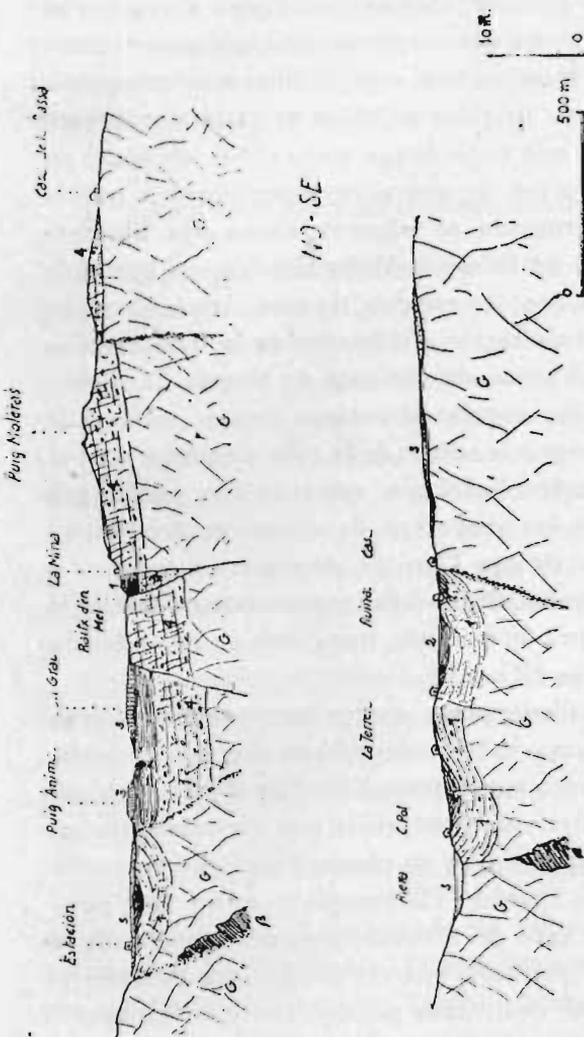
El valle de Caldas de Malavella, está situado precisamente entre dos fracturas transversales a la gran depresión, es decir NO.—SE. que son las que podemos denominar «fallas maestras» pues forman el esqueleto sobre que asientan todas las demás.

Estas dos fallas fundamentales serían difíciles de delimitar sobre el terreno si no vinieran jalonadas por erupciones basálticas, pues se abren en pleno granito y en estas condiciones todo intento de investigación es enormemente dificultoso. No obstante, como acabo de indicar, cada una de ellas viene indicada por una erupción volcánica.

La más meridional, está situada al SO. de la villa de Caldas y limita también por el SO. el gran llano que se extiende por la vaguada de la Riera de can Fesol, donde se asientan las masías de can Salou, Mas Riera, can Llop y can Ramón. Aproximadamente sigue en esta zona la vaguada del barranco de can Pla, haciendo destacar en el relieve los cerros de can Rigau y el cerro cota 112. Más al SE. corta el cerro de San Mauricio, donde emerge una erupción basáltica que forma la zona alta de este cerro. Es probable que pase por este punto una fractura de dirección NE-SO. pero en caso positivo estaría trazada en pleno granito y es de difícil delimitación.

La segunda fractura maestra es la más septentrional de las dos y está situada al NE. de la población rozando precisamente a ésta por la calle de Tras las Murallas, cuya dirección sigue con toda exactitud. Esta fractura que es fundamental para este estudio, merece ser descrita con todo detalle.

El extremo NO. visible está situado en la línea férrea, en las inmediaciones de la masía de Can Teixidor y viene denunciada en este punto por una emisión basáltica mucho más importante que la de San Mauricio, que probablemente ha emergido del NE. y se ha derramado hacia el SO. y SE. Bajo la misma casa d' en Teixidor,



Cortes geológicos longitudinales del valle de Còldas de Malavella

- G = Granito
 - A = Basalto
 - s = Suelo reciente
 - 1 = Arenas arcóscicas
 - 2 = Arcillas turbosas
 - 3 = Travertino
 - 4 = Conglomerado arcóscico
- Fallas

Fig. 5

en una antigua cantera hoy transformada en estanque, aflora la erupción integrada por basalto columnar con típica alteración en bolas. Los productos de esta alteración son principalmente óxidos de hierro y arcillas gris blanquecinas, estas últimas muy características. En el camino de can Teixidor a Caldas de Malavella, se corta también la erupción que se prolonga hacia el SE. teniendo en esta zona típicos productos de alteración especialmente arcillas gris-blanquecinas. La erupción se observa ahora con bastante claridad entre el ala NE. del Balneario Vichy Catalán y el barrio de la calle de Gerona. Los propios campos de este Balneario están formados por tierra de alteración del basalto en la que abundan las bolas y fragmentos diversos de esta roca sin alterar. En la misma calle Tras las Murallas esquina al antiguo camino vecinal de Caldas a Llagostera, frente a la salida de la calle Pequeña, y en el campo propiedad del señor Vallobera, aparecen aun arcillas gris blanquecinas análogas a los productos de alteración del basalto observados en el camino de can Teixidor, de manera que no cabe duda de su presencia a poca profundidad y por consiguiente da la situación exacta de la línea de fractura, que como ya he indicado se alinea sensiblemente de NO. a SE.

En la esquina de la calle Pequeña, parece interrumpirse la gran dislocación, pero continúa con toda claridad en el pozo La Mina, formando el borde abrupto septentrional del Puig de las Moleras, donde sufre diversas inflexiones producidas por «microdicrochements» que desplazan lateralmente su plano. En el propio cuello del Vehinat Alt, vuelve a aparecer claramente, pues no solo pone en contacto anormal la serie de arcosas ligeramente inclinada al SO. con el granito, sino que hasta aparece una brecha de elementos graníticos fuertemente cementada por una emisión de oligisto. En esta zona la falla ha tomado claramente la dirección O-E. y ya más al E. se pierde entre la masa granítica.

La zona situada entre estas dos fallas maestras se ha hundido transversalmente a la gran fosa tectónica de La Selva, formando una especie de foseta, larga y estrecha alineada como las fracturas.

de NO. a SE. que bien puede denominarse «fosa de Caldas de Malavella» en cuyo fondo se han acumulado los sedimentos cuaternarios descritos en la parte estratigráfica, de manera que no sería de extrañar que la turbera de Caldas de Malavella tuviera ya antecedentes tectónicos terciarios.

b) *La microtectónica y las emisiones hidrotermales.*

En el apartado anterior he descrito las dislocaciones maestras que cruzan el valle de Caldas cuyas consecuencias han sido las eyaculaciones basálticas. Pero así como la ancha fosa tectónica de La Selva no tiene un basamento uniforme y sólido, pues ya he dicho que está cruzado por fallas transversales como las que forman la «fosa de Caldas de Malavella» ésta tampoco está integrada por una sola pieza sino todo lo contrario, aparece hendida por una serie de dislocaciones, de mucha menor importancia es cierto, desde el punto de vista general, pero preciosas para nuestro objeto, pues son ellas precisamente las que han dado salida a las emisiones hidrotermales.

Estos pequeños accidentes que integran toda una interesantísima microtectónica, son perceptibles, gracias a la presencia de los sedimentos de la turbera cuaternaria, que por su escaso espesor acusan las más pequeñas desnivelaciones.

1. EL PUIG DE LAS MOLERAS Y SUS ALREDEDORES

Ya he indicado en el apartado de Estratigrafía la composición geognóstica del Puig de las Moleras, formado casi exclusivamente por conglomerado arcósico. También acabo de indicar que el borde septentrional abrupto de este Puig, que cae sobre las tierras de cultivo de don José Soler, es una de las fallas maestras de la «fosa de Caldas de Malavella».

El conglomerado arcósico está surcado por dos sistemas de diaclasas de rumbo. Uno sensiblemente de dirección NNO-SSE.

formado por haces de diaclasas muy apretadas, sensiblemente rectilíneas, cuyos planos se inclinan unos 70° al NE. Aun dentro de este sistema pueden hacerse dos tipos: unas grandes, macrodiaclasas de labios separados, algunas de las cuales han jugado como microfallas y otras han sido rellenadas con depósitos de ópalo y de baritina, y otras pequeñas, microdiaclasas apenas perceptibles en el conjunto, de labios muy apretados que dividen a la roca en una fina parrilla.

El segundo grupo de diaclasas de rumbo está formado por un sistema orientado casi O-E. muy pobre en individuos, de labios muy apretados, que se disponen, anchos y espaciados cruzando las diaclasas del primer sistema. Algunas están también rellenas de ópalos aunque con menos frecuencia que el sistema NNO-SSE.

Finalmente existe aun un tercer tipo de diaclasas, mejor leptoclasas, pequeñas e irregulares, localizadas especialmente en las inmediaciones de las fallas. Son sencillamente diaclasas que han acompañado a la rotura y desplazamiento de los estratos y que en ocasiones son utilísimas para poder localizar aquellas.

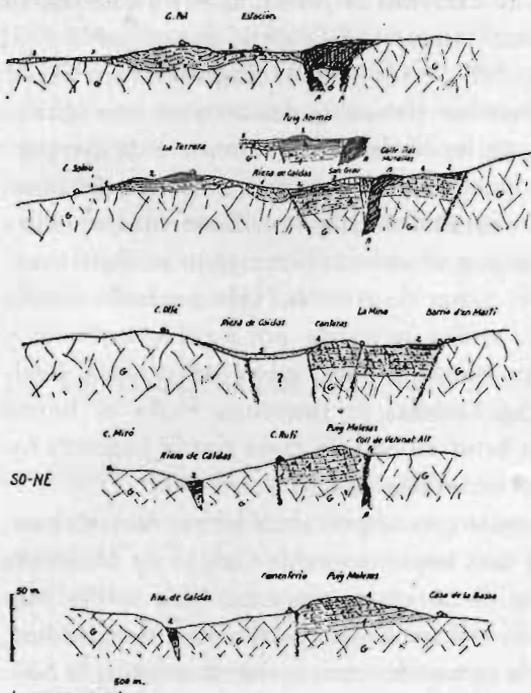
Esta es la estructura del núcleo de conglomerados arcóscicos del Puig de las Moleras. Su límite septentrional ya he indicado que era la gran fractura por la que han salido los basaltos de can Teixidor y que pone en contacto en el coll del Vehinat Alt, las arcosas con el granito. Pero un poco más al E. en los terrenos de cultivo de don José Plá, el labio N. de la falla no está formado por granito, sino que una meticulosa inspección revela un zócalo de arcosa idéntica a la del Puig de las Moleras. Es evidente pues que entre esta zona y la cuerda de Vehinat Alt, existe una dislocación transversal a la general, pues las arcosas están muy hundidas y chocan con el granito de dicha cuerda. Esto implica la presencia de una falla tijera, cuyo labio hundido es el S. en coll de Vehinat Alt y el N. en el terreno del señor Plá.

Al S. del Puig de las Moleras, siguiendo el camino que desde Caldas de Malavella conduce por el can Rufi y el Cementerio, a la casa de la Bassa, se descubre otra dislocación sensiblemente para-

lela a la septentrional que pone en contacto las arcosas con el granito. La falla es muy clara entre can Rufi y el Cementerio. En este último punto aparece ya claramente el granito y algo mas arriba en la primera curva del camino aparece un plano y brecha de falla muy claros con la consiguiente emisión de oligisto. La fractura se pierde hacia el SE. en pleno granito a lo largo del camino de can Figueras a can Xiberta.

Según esto, en líneas generales, el Puig de las Moleras es una pequeña fosa satélite dentro de la general de Caldas de Malavella, pues se ha hundido dentro del granito que la circunda. El hecho

de que en la actualidad aparezca como un saliente en el relieve es un efecto de la erosión, que ha atacado más fácilmente al granito, dada su mayor plasticidad morfológica, haciendo destacar la mole de duros conglomerados arcósicos, cuyo cemento silíceo los preserva en gran parte de la erosión, determinando la inversión del relieve.



Cortes geológicos transversales al valle de Caldas de Malavella
per N. Llopis Lladó.

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| G = Granito | 1 = Arenas arcósicas |
| B = Basalto | 2 = Arcilla turbosa |
| s = Suela reciente | 3 = Traverfino |
| le = filón de oligisto | 4 = Conglomerado arcósico |

Fig. 6

2. LAS MICROFALLAS DEL NO. DEL PUIG DE LAS MOLERAS

Al NO. del Puig de las Moleras, y precisamente en el pozo del

manantial La Mina, desaparecen bruscamente los conglomerados arcósicos, siendo substituídos por una capa de más de un metro de caliza travertínica que aparece muy claramente en el pequeño solar donde se ha abierto la galería de desagüe de La Mina. Por otra parte ya el corte del pozo de La Mina, deja ver que estos travertinos chocan con la pared oriental del pozo excavada completamente en los conglomerados arcósicos. Existe aquí una pequeña dislocación de un salto mínimo de 8 m. que ha puesto en contacto los travertinos con las arcosas. Por el límite NO. de las arcosas, que llega hasta el extremo N. de la calle Rusiñol en su parte más ancha, he deducido que esta falla tiene dirección NE-SO.

Pero algo más hacia el NO., en la casa de don Salvador Segué y en la calle pequeña aparecen de nuevo las arcosas con iguales caracteres que en el Puig de las Moleras. La superficie de estas arcosas está situada a 6 m. por encima del fondo arcósico del pozo de la Mina, de manera que otra microfalla, sensiblemente paralela a la anterior debe de limitar por el oeste la pequeña mancha travertínica situada entre ambas zonas de arcosas. Una pequeña foseta de 35 m. en su parte más ancha, ocupada por arcillas turbosas y calizas travertínicas se ha hundido pues, entre las arcosas. Realmente es que el Puig de las Moleras se prolonga hasta el barrio NE. de Caldas, y ha sido hendido en esta zona por la pequeña foseta limitada por las dos microfallas descritas.

Esta minúscula fosa, tiene una importancia extraordinaria pues engendra los manantiales más importantes de Caldas de Malavella ya que por la intersección de la falla maestra del Puig de las Moleras y la microfalla SE. de la foseta, emerge el manantial La Mina, y por la intersección de la misma fractura maestra con la falla NO. de la foseta aparece el Raitx d' en Mel.

Hacia el O. continúa la serie de microfallas. Las arcosas son bien visibles hasta el extremo occidental de la calle Pequeña, esquina calle de la Libertad. 40 m. más hacia el O. en el extremo occidental de la calle Pla y Daniel, aparecen ya los travertinos que forman el Puig de San Grau un m. más bajos que las arcosas de la

calle Pequeña. Aceptando pues, que los travertinos de San Grau tengan 5 m. y las arcillas subyacentes un mínimo de 6 m., estamos ante otra microfalla de, lo menos, 11 m. de salto, que pone en contacto arcosas y travertinos y cuyo trazado se debe de hacer por la Plaza de San Goraldo en dirección NNO. o simplemente N-S.

Entre el cerro de San Grau y el Puig de las Animas no hay señales de dislocación alguna. Ambas masas travertínicas aparecen perfectamente niveladas, como partes de una misma unidad y entre ellas aparecen en sus bases respectivas las arcillas turbosas. No existe pues, repito, señal de dislocación alguna en esta zona.

Mas hacia el NO. del Balneario Vichy Catalán y aun entre este edificio y el Puig de las Animas un diagnóstico en este sentido es de delicadeza extrema, pues es totalmente imposible reconocer en superficie el material que constituye esta zona. No me atrevo pues, a situar aquí una dislocación que sería completamente hipotética, y que únicamente podría deducirse por medio de algunas calicatas (hasta un máximo de un m. bastarían) en diferentes lugares de los alrededores del Balneario.

3. LA ESTRUCTURA DE LOS CERROS DE LA TERRERA Y LA DISLOCACION DE LA RIERA DE CALDAS

Al O. de la Riera de Caldas de Malavella, la estructura parece menos compleja. Desde luego está menos dislocada, habiendo contribuído a ello sin duda el carácter más plástico de los materiales de la base del cuaternario, pues como ya he indicado en la parte estratigráfica, en esta zona, las arcosas del Puig de las Moleras, pasan a simples arenas amarillentas con lechos de limonita interestratificados.

Escasean más aquí las microfallas, pero abundan en cambio los pliegues. Es a este respecto muy instructiva la trinchera del ferrocarril al SO. de la estación, donde las arenas inferiores dibujan dos claros sinclinales separados por un anticlinal bajo la casa de can Pol. El borde NO. de estos materiales no es tampoco normal sobre

el granito, sino que se estrella contra él: es el borde de la falla NE-SO. que converge en can Teixidor con la general NO-SE. (Puig Moleres-Can Teixidor) por cuya intersección ha tenido lugar la eyaculación del magma básico.

El borde oriental de los materiales de can Pol está muy accidentado sobre la Riera de Caldas. El bosque y los cultivos impiden su clara observación, pero allí donde afloran las arenas amarillentas, descubren fuertes buzamientos. Al O. de la masía de Pol, buzán 35° al E.; al E. de de la misma casa, camino viejo a Caldas y entre el encinar y el campo, buzán 40° O. En la bifurcación de este camino con el que va a La Terrera vuelven a buzár 45° O. Mas al SE. aun cerca de la masía en ruinas camino de Caldas a Mareras 30° SE. y un poco más al SE. aun, se ponen casi verticales en las proximidades del granito de la Avenida de San Mauricio.

Esta estructura revela que los materiales cuaternarios que integran los cerros de can Pol y la Terrera, están empotrados entre dos labios de granito con los que se ponen en contacto por dos fallas de dirección NE-SO.; una que sigue sensiblemente la vía férrea y se pierde más allá de can Teixidor y otra que sigue aproximadamente la línea can Furmica—calle de Santa María. Entre estas dos fallas, el material de los cerros de La Terrera, de gran plasticidad, ha sido comprimido y plegado diversamente dando origen a la diversidad de buzamientos que se observan a lo largo del recorrido de estos cerros.

¿Qué relaciones existen, desde el punto de vista estructural, entre la disposición de estos materiales y sus vecinos del otro lado de la riera de Caldas? Al primer vistazo se hecha de ver que hay una marcada desnivelación altimétrica entre la base de las arcillas turbosas de can Pol y la parte alta de las mismas al pie del Puig de las Animas, pues mientras la base de las arcillas en La Terrera está situado a 115 m. sobre el nivel del mar, su límite superior en Vichy Catalán está a 94 m. según cotas del mapa nacional a 1:50.000. Si a esta desnivelación se suman los 6-8 m. de potencia que he asignado a estas arcillas se encuentra una desnivelación total de cerca

de 30 m., que debe corresponder al salto de una falla, orientada de NO. a SE. que se empieza a descubrir en las inmediaciones del campo de futbol y que flexionándose suavemente al lado del balneario Vichy Catalán, se reúne bajo can Teixidor con las otras dos fracturas que convergen en este punto. Esta falla viene confirmada, no solo por la desnivelación mencionada entre las arcillas de can Pol y de Vichy Catalán, sino además, por la aparición en la vaguada de la Riera de Caldas al S. de C. Rufí, de las mismas arcillas turbosas, muy hundidas en relación con el granito circundante y muy próximo. El pozo de don Pedro Surroca situado en las inmediaciones ha cortado 12 m. de arcilla turbosa, según dice su propietario.

c) *Resumen estructural*

Según los datos anteriormente expuestos, en el valle de Caldas de Malavella y sus inmediaciones existen dos líneas fundamentales de fractura orientadas de NO. a SE. 1.º las dislocaciones Puig Moleras-can Teixidor y 2.ª La falla San Mauricio-cerro de can Rigau.

La primera línea de fractura es un complejo de macro y microfallas a consecuencia de que en su extremo SE. emite apófisis que dan el complejo del Puig de las Moleras. Tres microfracturas, cortan transversalmente la línea de dislocación, que de SE. a NE., pueden denominarse: falla de la Mina, falla del Raitx d' en Mel y falla de San Grau. Al SO. de la línea de dislocación se alinea paralelamente a ella una dislocación satélite, pero no por esto menos importante: la falla de la Riera de Caldas (campo de futbol-can Teixidor).

Además de este sistema de conjunto en dirección NO.-SE. hay también otras fracturas NE.-SO., que cortan a las primeras. Las más importantes son, de NO. a SO. falla de la línea del ferrocarril, falla can Fumica-calle de Santa María y la falla que limita por el SE. la cubeta de Caldas. Este segundo sistema de fracturas tiene

probablemente mucha mayor extensión, pero su trazado dentro del granito hace muy difícil su observación.

d) *Edad de los accidentes tectónicos.*

La red de fallas que acabamos de describir y que de tal manera complica la estructura del valle de Caldas es relativamente moderna y se ha motivado en épocas muy recientes, tanto que continúa moviéndose todavía durante los sismos, con las consiguientes perturbaciones en la circulación profunda.

Las primeras fracturas son evidentemente anteriores a los depósitos de arcosas pliocenas y están ligadas al desarrollo tectónico general de La Selva, cuyas dislocaciones son de edad pontiense y pliocénica inferior, es decir de fases estática y rodánica (19) (22); por estas fracturas fueron eyaculadas las coladas y pitones basálticos de Caldas y San Mauricio, cuyos cantos nutrieron los elementos detríticos de las arcosas del Puig de las Moleras, evidentemente posteriores a estas erupciones.

Pero los movimientos tectónicos continuaron después del depósito plio-cuaternario, como lo acreditan las fallas que cortan estos sedimentos y por las cuales emergieron las fuentes termales. Estos microaccidentes han de ser forzosamente waláquicos y aun probablemente post-waláquicos es decir layetánicos (19 bis), puesto que los travertinos del Turó de les Animes contienen industria neolítica.

C) *Relaciones de la estructura del valle de Caldas de Malavella con las fuentes termales*

La compleja descripción estratigráfica y estructural que antecede, es del todo indispensable para poder llegar a las conclusiones hidrológicas, tema y objeto principal de la presente memoria. Ahora, conocidos ya estos datos fundamentales se puedan abordar con más probabilidades de éxito estas cuestiones.

Ya he indicado al comenzar la parte tectónica, que se distinguían dos tipos de accidentes tectónicos. Unos, accidentes maestros, eran fallas de gran salto que surcaban el granito, otros, accidentes accesorios eran microfallas que interesaban principalmente y se hacían ostensibles, en la delgada cobertura cuaternaria. Ambos fenómenos guardan estrecha relación con las emisiones endógenas, pues a través de los primeros han sido eyaculados los basaltos y por los segundos emergen las fuentes termales. La macrotectónica engendra pues el vulcanismo mientras la microtectónica desarrolla la emisión hidrotermal.

a) *Las fuentes termales.*

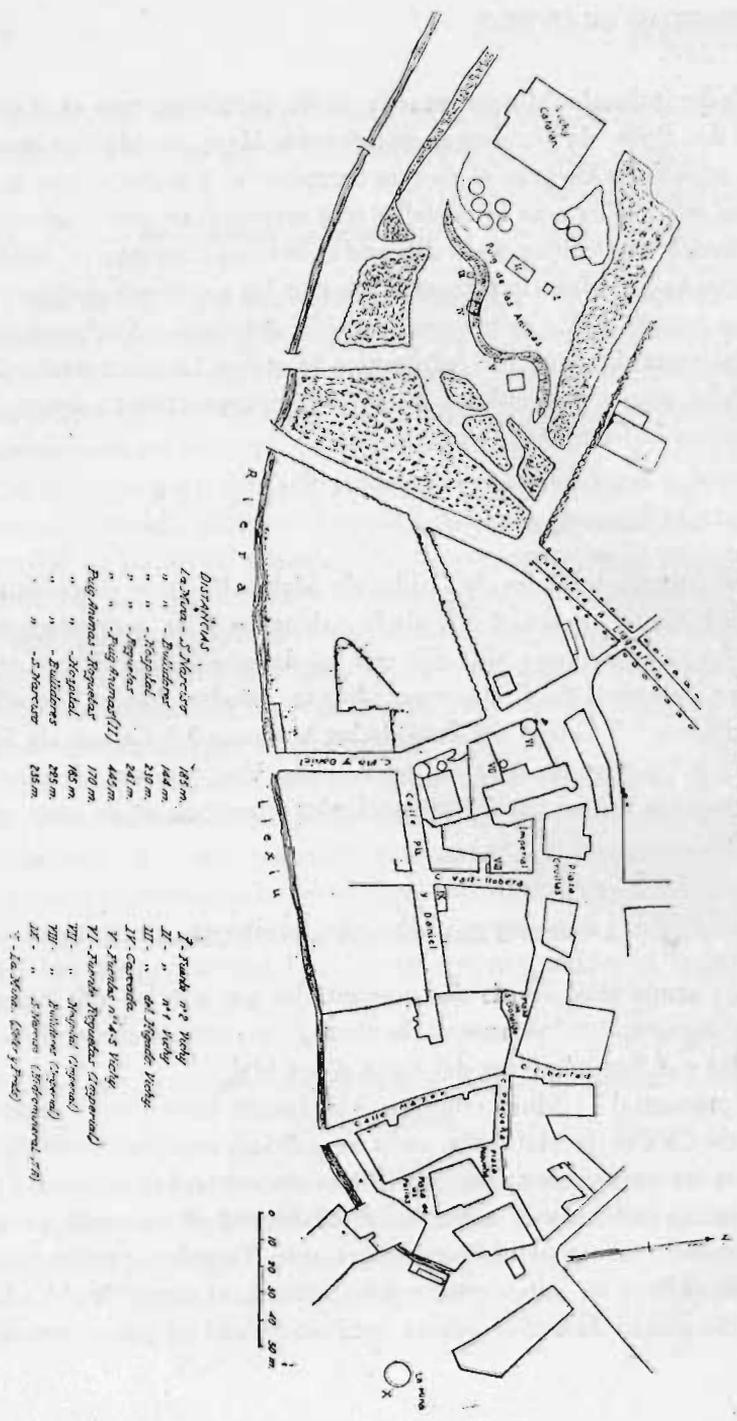
Las fuentes termales de Caldas de Malavella están situadas todas en la parte septentrional de la población y las inmediaciones de la fractura maestra NO.-SE. que ha dado salida a los basaltos de Can Teixidor. Para mejor estudiar se pueden hacer con ellas tres grupos: 1.º Grupo del Puig de las Moleras; 2.º Grupo de San Grau y 3.º Grupo de Puig de las Animas. Voy pues a estudiar a continuación las características geológicas particulares de cada una de ellas.

1. GRUPO DEL PUIG DE LAS MOLERAS

Este grupo comprende dos manantiales que son los más interesantes desde todos los puntos de vista. El manantial denominado La Mina y el llamado Font del Raitx d' en Mel.

El manantial La Mina, constituye la fuente termal más importante de Caldas de Malavella, en la actualidad, especialmente después de las obras realizadas con objeto de aumentar su caudal y mejorar sus condiciones sanitarias. Esta fuente aflora en la intersección de la falla general Puig Moleras-can Teixidor, con una microfalla de 8 m. de salto transversal a aquella, es decir NE.-SO. En el mismo punto de convergencia está perforado el pozo que ac-

PLANO DE LA ZONA DE EMERGENCIA DE LAS AGUAS TERMALES DE CALDAS DE MALAVELLA.



Distribución

La Xosa - S. Marçor	165 m.
" " - Bullidors	144 m.
" " - Hospital	210 m.
" " - Figueras	241 m.
" " - Fungromar (11)	445 m.
" " - Hospital	170 m.
" " - Bullidors	285 m.
" " - S. Marçor	235 m.

- I - Tronch nº 2 Vicby
- II - " nº 1 Vicby
- III - " del Hospital Vicby
- IV - Caranda
- V - Tronch nº 4, 5 Vicby
- VI - Tronch Hospital (original)
- VII - " Hospital (original)
- VIII - " Bullidors (original)
- IX - " S. Marçor (original nº 8)
- X - La Xosa, (1947 y 1948)

Fig. 7

tualmente constituye el manantial. Esta captación tiene 9 m. de profundidad a partir de la superficie del suelo y 5 m. a partir del primitivo punto de emergencia.

El caudal, según aforo reciente es de 172,08 l./minuto y la temperatura tomada en el mismo punto de emergencia es de 60°C.

Esta fuente debe evidentemente su emergencia a la presencia de la microfalla transversal, que ha facilitado la salida del agua. Antes de las obras, ésta se dispersaba por la caliza travertínica perdiéndose en parte, pero ahora se ha unificado dando el copioso caudal actual.

El agua asciende por la microfalla hendida en las arcosas totalmente impermeables. Antes de las obras seguía el contacto de las arcosas con las arcillas, también impermeables y se dispersaba al llegar a la caliza travertínica.

La fuente del Raitx d' en Mel, aparece a 40 m. escasos del pozo de La Mina, estando completamente urbanizada de manera que hoy es completamente imposible observar su punto de emergencia. Según observaciones recientes su caudal es de 13,08 l./minuto y su temperatura de 58° C. La emergencia de esta fuente se hace también sobre la falla maestra Puig Moleras-can Teixidor en su intersección con otra microfalla casi paralela a la de La Mina que pone en contacto las arcosas de la calle Pequeña con los travertinos del Lavadero, que como ya he dicho forman una pequeña dovela hundida entre las dos zonas de arcosas. El agua debe de ascender también entre las arcosas impermeables y las ancillas impermeables también, dispersándose como siempre al llegar a los travertinos. Esta fuente tiene pues, también, como La Mina una microfalla propia, por la cual emerge.

2. GRUPO DE SAN GRAU

Este grupo, comprende una serie de fuentes y de pozos, que emergen todos en la masa de travertino que constituye el cerro de San Grau. Estos manantiales son los siguientes: Els Bullidors, Raitx

de San Grau o Roquetas, Hospital, Font d' en Pla, San Narciso, Fuente de can Manegat, Pozo de can Boada y Pozo de can Banyes.

Las características físicas de las aguas que emergen por estos manantiales son muy diversas especialmente por lo que se refiere a su temperatura, que oscila entre los 58° C. en Els Bullidors máxima de las fuentes de San Grau, hasta solo 19° en el pozo de can Boada, pasando por las de 56° en Raitx de San Grau, 35° C. en fuente del Hospital y 22° C. Pozo de can Banyes. Por lo demás estos datos no son rigurosamente exactos, pues los diferentes autores que indican sus temperaturas no coinciden generalmente. Lo que es realmente cierto es que existe una gran diversidad de temperaturas en las aguas de San Grau, diversidad solo atribuible a una mezcla de las aguas termales con las superficiales tal como he demostrado en la primera parte de este trabajo.

Los caudales son también muy diversos. El conjunto de los manantiales públicos da en total 84,21 l./minuto, al que hay que añadir el caudal de los pozos de can Banyes y can Boada y el de la fuente Manegat que no están aforados. También en cuanto a estos caudales he observado que existen discrepancias, pues el doctor D. Ramón Codina en su Memoria-Análisis sobre la fuente Els Bullidors, atribuye a ésta un caudal de 1.300 l./hora es decir 21,44 l./minuto lo que no está de acuerdo con los aforos recientes que dan para este manantial 13,08 l./minuto.

Un problema de capital importancia para el porvenir, es el punto de emergencia de las fuentes de San Grau y sus relaciones mutuas, pues la edificación impide una observación clara de los terrenos y la localización de la fractura es dificultosa. No obstante por las razones que he dado en la parte estructural, creo que las arcosas de la Plaza Pequeña y los travertinos del cerro de San Grau están separados por una microfalla transversal también a la falla maestra general Puig-Moleras-can Teixidor, a la cual hago responsable de la aparición de las fuentes. Según esto el punto de emergencia de estas fuentes está situado entre el extremo occidental de la calle Pequeña y la Plaza Cruilles a una profundidad de 12 a 15

metros. En este punto debe de aflorar un piso de arcosas análogo al del pozo de La Mina, pues las condiciones estructurales son muy semejantes.

De lo que no cabe la menor duda es del origen común de todos los manantiales de San Grau, de decir que todos ellos aparecen en la zona que acabo de indicar y al llegar a la masa de travertinos que aquí tiene lo menos 5 m. de potencia, se dispersan en ella dando lugar a la diversidad de manantiales y multiplicidad de sus características físicas, según la cantidad de agua superficial con que se mezclen. No cabe tampoco la menor duda que las aguas minerales de las fuentes del cerro de San Grau, no pueden emerger por ninguna otra fractura, grieta o diaclasa que pudiera estar situada bajo el cerro, pues los 6 u 8 m. de arcillas turbosas impermeables que soportan los travertinos se oponen a todo intento de emergencia. Repito pues que la aparición de estos manantiales debe de efectuarse en el lugar antes indicado, y precisamente en el contacto de las arcosas con los travertinos.

3. GRUPO DEL PUIG DE LAS ANIMAS

El tercer grupo de fuentes está localizado en el Puig de las Animas, cerro integrado por una masa de travertinos de una potencia mínima de 5 m. En él aparecen las fuentes llamadas de los Surtidores, Font Chica n.º 2, Cantera n.º 3 y fuente del Hígado.

Según los datos de Vidal las temperaturas de las tres primeras son respectivamente de 59º C., 59º C. y 31,5º C. La fuente del Hígado, según medición reciente tiene 48,3º C. Tampoco aquí hay concordancia de temperaturas, pues las mediciones recientes dan para todas las fuentes del Puig de las Animas 58º C. menos la del Hígado que como he indicado tiene 48,3º C. Estas diferencias a mi juicio, deben ser atribuidas más bien a errores de medición que a variaciones de la temperatura de los manantiales.

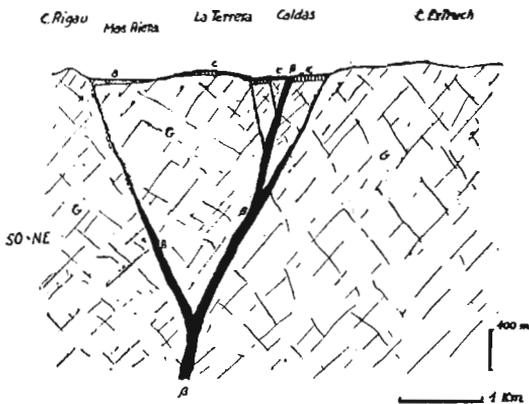
Con los caudales, pasan anomalías análogas. Los aforos recientes suman para la totalidad de las fuentes del Puig de las Animas

32,35 l./ minuto mientras que el aforo publicado por Vidal acusa nada menos que 187,73 l./ minuto para la totalidad, de los cuales corresponden 175 l./ minuto a los Surtidores que en la actualidad solo dan 23,23 l./ minuto. En cuanto a este punto no me atrevo a insinuar que haya error en las mediciones, pues si las fuentes termominerales suelen conservar siempre sus temperaturas, no ocurre lo propio con sus caudales susceptibles de múltiples modificaciones. Más bien me inclino a creer lo último.

En cuanto al punto de emergencia de estos manantiales es de mucha más difícil precisión que en los del Puig de San Grau. Como allí no cabe duda que todos tienen un origen común, es decir que manan todos de la misma grieta, pero el problema difícil es conocer el punto donde se halla situada. Desde luego el Puig de las Animas tiene las fuentes más alejadas de la falla principal Puig Moleras-can Teixidor, de todas las que emergen en Caldas de Malavella. La Mina está sobre esta falla; San Grau a unos 40 m. de la misma y Puig de las Animas a más de 160 m. En estas condiciones y estando ocupado el espacio que media entre los travertinos del Puig de las Animas y la falla, por arcillas turbosas impermeables, no puedo suponer de ninguna manera que las aguas de estos manantiales procedan de la falla general Puig Moleras-can Teixidor. En cambio su posición está más próxima a la falla de la Riera de Caldas que como he indicado se extiende desde el NE. del campo de fútbol hasta can Teixidor, por lo que me inclino a admitir que las aguas de estos manantiales vienen del O. emergiendo de dicha falla. También podría ocurrir que entre los travertinos del Puig de las Animas y los terrenos del balneario Vichy Catalán, cuya naturaleza ignoro por estar cubiertos por suelos recientes, hubiera una microfalla transversal semejante a las anteriores descritas, pues como se ha visto cada grupo de fuentes tiene la suya. En esto pues, no puedo decidirme de una manera definitiva, pero considero más probable repito que las aguas vengan aquí, del O.

b) Estudio comparativo y circulación subterránea.

Cuando se comparan las características geológicas de las diferentes fuentes termales de Caldas de Malavella, se hechan enseguida de ver, las estrechas analogías genéticas que guardan. El hecho más conocido y de mayor interés práctico es el de existir una presión determinada que mantiene a todas las fuentes en su punto de emergencia, de manera que cualquier modificación artificial que se realice en dichos manantiales hace bajar el nivel de los demás. Esto ocurrió en 1941, con el manantial de Vichy Catalán, cuyo nivel fué rebajado en



Corte geológico de profundidad del valle de Caldas de Malavella.

por N Llopis Lladó

- G = granito
- c = Cuaternario
- a = Aluviones recientes
- β = Basalto
- /// = Aguas termales

Fig. 8

0,40 m., redundando en perjuicio de los demás. Igualmente en las obras realizadas en el manantial La Mina al dejar al descubierto las arcosas a 4 m. más abajo del nivel normal, quedaron en seco los restantes manantiales siendo preciso construir una arqueta de captado que mantuviera las aguas al nivel antiguo, con lo que reapareció el caudal ordinario en las demás fuentes.

Esto indica claramente, que todas las fuentes, emergen de una fractura maestra, que indudablemente es la falla general Puig Moleras-can Teixidor, por la que ha sido expulsado el basalto de can Teixidor, que como ya he indicado llega por lo menos hasta el extremo SE. de la calle Tras Murallas. Es indudable que este dique

de basalto ha facilitado las salidas de las aguas termales actuando de zona impermeable, pues ocupa el plano de falla que buza unos 75-80° al SO. El agua termal ha ascendido por la brecha de falla, entre una pared granítica al SO. y otra basáltica al NE. Pero entre 120 y 150 m. de la superficie se cortan la falla general y la falla de la Riera de Caldas, de manera que en este punto el agua termal se divide en dos partes, emergiendo también por la falla de la Riera de Caldas y dando así probablemente, los caudales del Puig de las Animas. Mas arriba aun, aproximadamente a los 20 m. de la superficie aparece la unión de la misma falla general Puig Moleras-can Teixidor con la microfalla del Ratx d' en Mel y con la del Puig de San Grau, dispersándose también por ellas y dando los respectivos manantiales. No obstante, a mi juicio, el mayor caudal, continúa por la falla general aflorando en parte en el pozo de La Mina, pues es por aquí por donde continúa el dique de basalto que debe de detener la mayor cantidad de agua.

Los manantiales de La Mina y Ratx d' en Mel, tienen pues condiciones óptimas de emergencia, ya que se encuentran situados sobre la falla maestra. Precisamente hay que observar en favor de esto que son las que tienen mayor temperatura y caudal de todas las de Caldas.

Los manantiales de San Grau, no reúnen ya condiciones tan favorables. Se hallan a unos 40 m. de la fractura general y forman parte de un caudal único que se dispersa superficialmente, al llegar a la masa de travertino. Sus caudales y temperaturas son ya en algunos casos muy inferiores a las del Grupo de La Mina. Recordemos que el pozo de can Banyas tiene 19°, el de can Boada 22° C.

En cuanto a los manantiales de Vichy Catalán, están en condiciones pésimas por lo que respecta a su posición con relación a la falla general. Ya he indicado mi opinión, de que las fuentes del Puig de las Animas no tienen relación directa con la falla maestra Puig Moleras-can Teixidor, pues están alejadas de ella más de 160 metros y este espacio está ocupado por arcillas impermeables. Pa-

rece pues más probable que emerjan por la falla de la Riera de Caldas.

Por lo demás el Puig de las Moleras, ha sido ya en todo tiempo, la zona donde los fenómenos de vulcanismo atenuado han tenido su máxima intensidad según lo ponen de manifiesto los numerosos filones de ópalo y baritina, que rellenan los dos sistemas

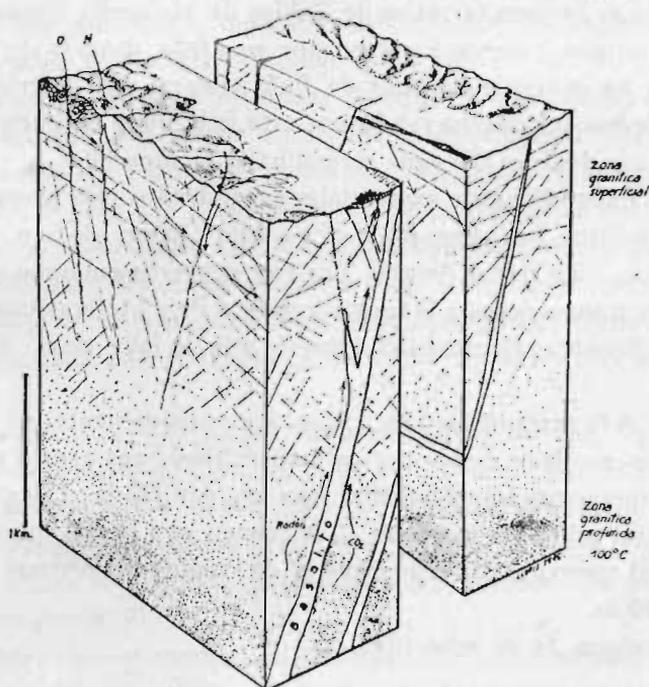


Fig. 9.—Circulación profunda y superficial en el valle de Caldas y origen de los elementos minerales disueltos en el agua.

de diaclasas que cruzan las arcosas de dicho cerro. Son especialmente numerosos los de dirección NO-SE. y están especialmente localizados al N. de can Rufi. El Puig de las Moleras es la zona que presenta la máxima dislocación y por lo tanto no es de extrañar que siempre se hayan localizado allí las zonas de emisión de los productos de vulcanismo atenuado, que empezaron seguramente

con fenómenos fumarolianos que depositaron oligisto y baritina, siguieron los geiserianos depositando sílice y terminaron con los hidrotermales actuales que depositan las calizas.

CONCLUSIONES HIDROLOGICAS

1.^a Las fuentes termales de Caldas de Malavella, tienen todas ellas un origen común. Emergen por una falla dirigida de NO. a SE. que he denominado falla de Puig Moleras-can Teixidor. Un dique de basalto que ha salido por esta falla, sirve de zona impermeable conductora del agua termal hasta la superficie.

2.^a Existen cuatro manantiales engendrados por otras tantas fallas satélites: La Mina, Ratx d' en Mel, Grupo de San Grau y Grupo del Puig de las Animas. Los tres primeros emergen por microfallas transversales a la fractura general Puig Moleras-can Teixidor. El último aparece probablemente por la falla de la Riera de Caldas.

3.^a A la profundidad de 150 m. aproximadamente, se reúnen todos los caudales de los cuatro manantiales, pues a esta profundidad convergen las microfallas que les dan salida. Los caudales de los tres primeros manantiales se reúnen ya a los 30 m. de profundidad aproximadamente. Solo el de Puig de las Animas lo hace a los 150 m.

Barcelona, 14 de julio 1943.

RÉSUMÉ

Les eaux thermo-minérales de Caldas de Malavella (prov. de Gerona) émergent dans une formation sédimentaire pliocène et quaternaire que s'appuie sur le granite du bassin tectonique de La Selva, placé entre les «horst» des chaînes pré-littorale et littorale catalanes.

Ces sédiments sont formés par des conglomérats arkosiques à la base, argiles obscures avec nombreux restes de mammifères

quaternaires et tourbe, et travertins contenant des restes néolithiques, coronant la formation, d'une puissance totale de 35 m. Il a des changements latéraux des faciès: vers l'E. la série détritico-basale est plus puissante, jusqu'à 22 m.; vers l'W. elle n'arrive à atteindre que 12 m. À côté même de la ville de Caldas, au «Puig de les Moleres», les conglomérats arkosiques sont fortement silicifiés par des anciennes émissions hydrothermales et géosériques avec dépôts, en filonnets, d'opale et barytine.

Ces sédiments sont fortement disloqués par des failles de différentes échelles, fortement enracinées dans le granite. Parmi les plus importantes ont monté des émissions de basaltes en époque antérieure aux dépôts des conglomérats arkosiques car ils contiennent des cailloux de basalte. Les directions dominantes sont les NW-SE et NE-SW, directions normales dans la chaîne cotière catalane. Les failles ont joué pendant le pliocène supérieur et même pendant le quaternaire ce qui a permis l'émission des eaux thermo-minérales.

Ces eaux, très proches aux tous points de vue, à celles du Vichy, dans le Massif Central Français, affleurent par les failles satellites qui traversent les sédiments plio-quaternaires et en arrivant à la couche des travertins donnent lieu à beaucoup de sources de températures et de degrés de minéralisation différents. Les plus chaudes émergent à 60 C.

L'émission et conduction, des eaux thermo-minérales dans les parties profondes (à 150 m. environ) est conditionnée par la présence d'un dyke de basalte que, par sa imperméabilité favorise la sortie à la surface.

SUMMARY

The thermal-mineral waters of Caldas de Malavella in the province of Gerona surface in a quaternary pliocene sedimentary formation, which rests on the granite bed of the 'La Selva' tectonic

basin, situated among the 'horsts' of the mountain ranges that run parallel to the Catalan coast.

These sediments consist of a basic arkose conglomerate overlaid by dark clays containing numerous quaternary mammiferous and vegetable remains, and travertines containing neolithic remains, the whole reaching a total depth of 35 metres. There are lateral variations in the formation: to the East, the basic detrital deposit is more marked, being some 22 metres deep, while on the West it is only 12 metres. Near the town of Caldas, at Puig de les Moleres, the arkose conglomerates are strongly silicified by former hydro-thermal and geyser emissions with small seams containing opals and barytes.

The deposits have been broken up by faults of varying importance which reach well down into the granite. Through the largest of these faults there have been eruptions of basalt, which occurred prior to the formation of the arkose conglomerates since these contain basalt pebbles. The predominant directions of the faults are NW-SE and NE-SW, the normal directions for the coastal ranges of Catalonia.

The faulting responsible for the thermo-mineral springs must have taken place in the superior pliocene and even the quaternary eras. These waters, which are very similar to the waters at Vichy in the French Massif Central, flow along the subsidiary faults that cross the plio-quaternary deposits until on reaching the travertine strata they disperse, forming numerous springs of varying temperatures and mineral content. The temperature at the surface of the warmest of these springs is 60 degrees centigrade.

The course and emergence of these thermo-mineral waters, which rise from a depth of approximately 150 metres, is conditioned by the presence of an impermeable basalt dyke, which forces them to the surface.

BIBLIOGRAFIA

1. *Almera (J.)* «Descripción de los terrenos pliocénicos de la cuenca del Bajo Lobregat y Llano de Barcelona. Pliocénico de la provincia de Gerona, según las notas de los señores don Luis M. Vidal y don Manuel de Chia». Bol. R. Academia de Cienc. y Art. de Barcelona, 3.^a época, Vol. I. T. III, Barcelona 1894-1907.
2. *Ashauer (H.) und Feichmüller (R.)* «Die variscische und alpidische Gebirgsbildung Kataloniens». Beitr. z. Geol. d. west. Medit., n. 17 Abh. d. Ges. de Wiss. z. Gott. Math. Phys. Kl., III Folge, H. 16-18 págs., 7 lám., 48 fig. Berlín 1935.
3. *Bataller (J. R.)* «Assaig bibliogràfic de la geologia de Girona». But. Inst. Cat. Hist. Nat., T. XXIII, pp. 36-35. Barcelona 1923. (Catálogo de 250 fichas, hasta 1922, por orden alfabético de autores).
4. *Bataller (J. R.)* «Condiciones geológicas de las aguas minerales de Cataluña». Lab. de Geol. del Sem. de Barcelona, publ. n. 8, 90 pág., 11 fig., 4 map. 6 fot. Barcelona 1933.
5. *Bataller (J. R.)* «Les eaux thermo-minérales de la Catalogne». Rap. prés. au XVI e. Cong. Int. d'Hydr., de Clima. et de Géol. Méd. de Toulouse, 19 pág. Saint-Amand (Cher), 1933.
6. *Bataller (J. R.)* «Estudio geológico sobre las aguas minerales de Cataluña». Ibérica n. 1.006, pág. 8, n. 1.008, pág. 40, n. 1.009, pág. 56, n. 1.015, pág. 152. Barcelona 1934.
7. *Bauza (F.)* «Breve reseña geológica de la provincia de Gerona». Bol. Com. Map. Geol. de España, T. I. pp. 169-175. Madrid 1874.
8. *Calderón (S.), Cazorro (M.) y Fernández Navarro (L.)* «Memoria sobre las formaciones volcánicas de la provincia de Gerona». Mem. R. Soc. Esp. Hist. Natural, T. IV. Mem. n. 5 pp. 159-491, 10 lám., 13 map. 73 fig., Madrid 1906.
9. *Calderón (S.)* «Los minerales de España». Publ. Jun. Ampl. Est. e Investigaciones Cientif., 2 tomos, I. 1910, II. 1916. Madrid.
10. *Carreras Candi (F.)* «Geografía General de Catalunya. Prov. de Girona», por J. Boter Sisó. Edit. Martín. Barcelona. (Sin fecha).

11. Casares (J.) y Busquets (J.) «Investigación de la litina en varias aguas minerales». Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., T. XI, pp. 119. Madrid 1911.
12. Cazorro (M.) «El Cuaternario y las estaciones de la época paleolítica en Cataluña». Mem. R. Acad. de Cienc. y Art. de Barcelona, T. XV (3), n. 3 pp. 103-166. 3 fig., 14 lám. Barcelona 1919.
13. Chía (M.) «Nuevos hallazgos en Caldas y Serinyá. Revista de Gerona. Gerona 1879.
14. Chía (M.) «Estación prehistórica de Caldas de Malavella». Revista de Cienc. Hist. de Barcelona, t. II, pp. 520-526, 3 grab. Barcelona 1891.
15. Font y Sagne (N.) «Origen Geológico de los manantiales termominerales de Caldas de Malavella (prov. de Gerona). Bol. R. Soc. Esp. Hist.», T. III, pp. 411-417. Madrid 1903.
16. Font y Sagne (N.) «Caldas de Malavella y su manantial «Els Bullidors». Folleto de 25 pp., 10 grab. Barcelona 1904.
17. Font y Sagne (N.), Codina Langlin (R.), Novellas (F.), Presas (J.) «Agua Xalá del manantial «Els Bullidors» de Caldas de Malavella (Gerona), antes denominada Vichy Caldense, propiedad de Pablo Estapé y Maristany; declarada minero-medicinal y autorizada por Real Orden de 30 de junio de 1902. Memoria Científico-Histórica, Análisis químico, cualitativo y cuantitativo y Estudio terapéutico. 96 pp. 3 fig., 6 lám. Tipogr. Modesto Berdós, Barcelona 1904.
18. Géologie de la Méditerranée Occidentale, IV partie. Région volcanique. Barcelona 1931.
19. Llopis Lladó (N.) «Contribución al conocimiento de la morfoestructura de los Catalánides. 1 vol. 372 págs. 40 figs. 23 láms. Barcelona 1947.
- 19 bis. Llopis Lladó (N.) «Los movimientos corticales intracuaternarios del NE. de España. Est. Geol. n. 3, págs. 181-232, 15 figs., 7 láms. Madrid 1945.
20. Maestre (A.) «Descripción geológica-minera del distrito de Aragón y Cataluña. Anales de Minas, vol. III, pp. 193-278. Madrid 1845. Bull. Soc. Geol. Fr. 2 ser. T. II, pp. 624, París 1845.
21. Mallada (L.) «Explicación del Mapa Geológico de España». Mem. Comp. Map. Geol. Esp. T. 1-6 Madrid, 1895-1911. Tomo I, reimpresso en 1927.
22. «Memoria explicativa de la Hoja n. 334, GERONA», del Mapa geológico de España 1: 50.000, 140 págs., 19 figs., 13 lámns. Madrid 1949.
23. San Miguel (M.) y Marcel (J.) «Región volcánica gerundense». Guía excursión XIV Congr. Geol. Intern. E-C 4, Madrid 1926.
24. Vidal (L. M.) «Estudio geológico de la estación termal de Caldas de Malavella (Gerona)». Bol. Com. Map. Geol. Esp. T. IX, págs. 65-91, 5 figs., 1 láminas. Madrid 1882.
25. Vidal L. (M.) «Reseña geológica y minera de la provincia de Gerona». Bol. Com. Map. Geol. Es p. T. XII, págs. 209-380, 25 figs.. 1 map. 1886.

Estudio geoespeleológico del Forat de les «Gralles»
(Bellver de Cerdaña, Lérida)

POR

JOAQUIN MONTORIOL POUS

El estudio geoespeleológico de esta sima, la más importante de las exploradas hasta el presente en la Cerdaña, lo pudimos realizar gracias a la gentileza del distinguido bioespeleólogo Francisco Español, quien tuvo a bien invitarnos a la expedición que, patrocinada por el señor I. Jaussàs, secretario del Ayuntamiento de Bellver de Cerdaña, se desarrolló durante los días 17 y 18 de junio de 1950. También queremos hacer patente nuestro agradecimiento a los vecinos de aquella pintoresca localidad, señores P. Estany y hermanos Pons, por su desinteresada colaboración, que contribuyó al buen éxito de la exploración, así como a nuestro compañero del Grupo de Exploraciones Subterráneas (G. E. S.) del C. M. B., señor Francisco Vicens, por su colaboración técnica.

Noticia histórica.—A pesar de que esta sima es conocida en la región desde tiempos inmemoriales, no se halla consignada en ninguno de los catálogos espeleológicos de Faura y Sans (4) (5) (6), habiendo sido citada por primera vez en 1935, por Closas (2). Es curioso observar que, mientras la vecina formación de la «Fou de

Bor» recibía numerosas visitas, incluso de las más acreditadas figuras de la espeleología mundial (7) (9), el «Forat de las Gralles» permanecía virgen de toda exploración, probablemente debido a su situación y a las dificultades que oponía a su descenso.

Por otra parte, el hecho no es más que el reflejo de la poca actividad espeleológica desarrollada, hasta el presente, en las vertientes catalanas del Pirineo, reducida casi a algunas exploraciones efectuadas por elementos del C. M. B. (2) (8) (16), cosa que contrasta notablemente con la gran actividad llevada a cabo en el resto de la región.

Es por todo ello que, desde un principio, consideramos la exploración de esta sima como de gran interés, máxime cuando la altitud de su boca (14) (15) y el espesor de las capas calizas, hacían concebir buenas esperanzas en cuanto a su profundidad. El descenso tuvo lugar, como ya hemos citado anteriormente, los días 17 y 18 de junio, y durante el mismo pudimos realizar la primera exploración total de la cavidad.

Situación.—La boca del «Forat de les Gralles» se abre en un paraje abrupto, a unos 30 m. sobre el talweg del torrente de Garra-vet, a su derecha hidrográfica, y a 1.409 m. sobre el nivel del mar. En este punto el torrente va muy encajado, hallándose dominado por pequeñas cimas, todas ellas superiores a los 1.600 m.

Para llegar a la sima es preciso partir del caserío de Santa Magdalena, siguiendo un camino que gana rápidamente altura, por la solana de los montes que se levantan sobre el Bac de Néfol. Al llegar encima de un brusco descenso de pendiente, probablemente un antiguo nivel de base del torrente, es preciso bajar hasta el thalweg y remontar por la ladera opuesta, alcanzándose en poco tiempo la boca de la sima.

Geología.—Dejando aparte una pequeña área atravesada por el thalweg del torrente de l'Inglà, en donde aparece el Silúrico (Gothlandiense), la zona que se extiende por los alrededores de la

cavidad se halla, en su totalidad, constituida por calizas devónicas y el Carbonífero. Esta zona, delimitada al N. por la gran falla que, siguiendo la dirección E.—W., se extiende durante más de 9 km., se halla sumamente fracturada. Además de un conjunto de pequeñas fracturas escalonadas, dispuestas en abanico, localizadas en la vertiente derecha del torrente de l'Inгла, debemos mencionar un importante conjunto de fallas que, formando ángulos de aproximadamente 90° , y dispuestas sensiblemente según las direcciones N.—S. y E.—W., ponen en contacto mecánico el Carbonífero y el Devónico.

Una de las muchas fracturas existentes, actuando como línea

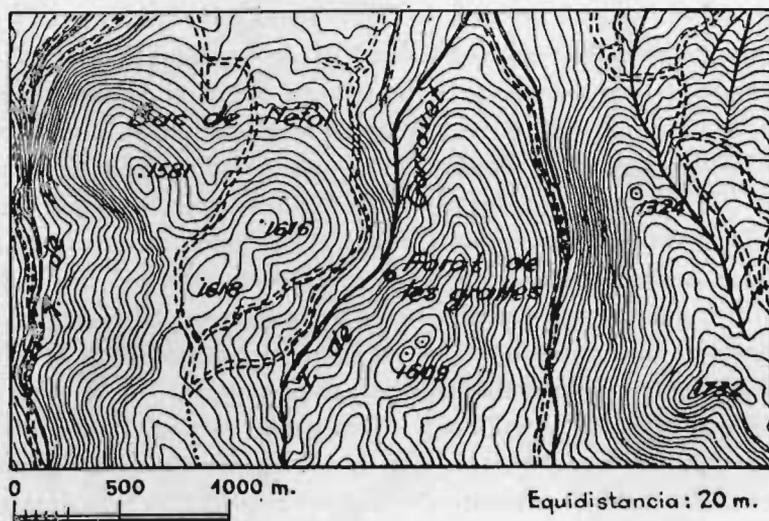


Figura 1.—Topografía de los alrededores del Forat de les Gralles.

de mínima resistencia, debió ser aprovechada por el torrente de Garravet para labrar su cauce. De esta época data la génesis de la sima, que, abriendo su boca en el mismo talweg del torrente, debió actuar como sumidero, sirviendo el plano de falla como punto de absorción de las aguas. Posteriormente el talweg se desplazó al SW., y la boca de la cavidad quedó colgada unos 30 m. so-

bre el mismo, dejando de funcionar como sumidero y entrando en una fase senil (10).

Espeleografía y espeleomorfología.—La boca de la sima, orientada N. 20 W, es de grandes proporciones, midiendo 13 m. de longitud por 4,5 m. de anchura. Partiendo del labio N. de la misma, se descienden verticalmente 23 m., pudiéndose observar en el tramo superior diversos signos de erosión, que aparecen totalmente enmascarados por la litogénesis en las partes profundas del pozo.

El piso de la primera planta, que forma como una C orientada al E., se halla totalmente ocupada por brechas de pequeño tamaño, detritus vegetales y una cantidad de guano sorprendente, que, debido al gran número de *Corvus corone* que habitan en la sima, alcanza en algunos puntos los 2 m. de espesor. Esta capa de guano, que forma una especie de terraza sobre el borde del segundo pozo, dificulta notablemente la exploración de la cavidad. Toda la porción NW. de esta primera oquedad se halla enmascarada por la quimiolitogénesis, no pudiéndose apreciar signo alguno de su primitiva morfología. Hacia el S. existen muestras de un proceso quimioclástico, a manera de enormes bloques apoyados entre sí, que forman una especie de arco. Atravesado el mismo, se penetra en una pequeña salita—la rama meridional de la C—, en la que puede apreciarse algún signo glyptogénico.

En su extremo se halla una cxígua gatera vertical, atravesada la cual sigue un pequeño pozo, que se une lateralmente a la segunda sima de la cavidad; este estrecho camino presenta un bien desarrollado proceso reconstructivo.

Penetrando por el pozo mayor—situado en el extremo de la rama septentrional de la C—se descienden verticalmente 18 m., hasta llegar a la cima de una rampa de materiales clásticos, situada a 46 m. Bajando por ella, se llega a una sala cuya bóveda se eleva a 17 m. de altura, y cuyas paredes y techo se hallan tapizadas por un proceso litogénico que presenta algunas estalactitas de notable tamaño.

En el extremo de esta caverna existe un pequeño agujero entre los materiales clásticos, cuyo piso, a-54 m., constituye el fondo del «Forat de les Gralles».

Espeleometría.—Dimensiones boca: 13 m. x 4,5 m. Profundidad

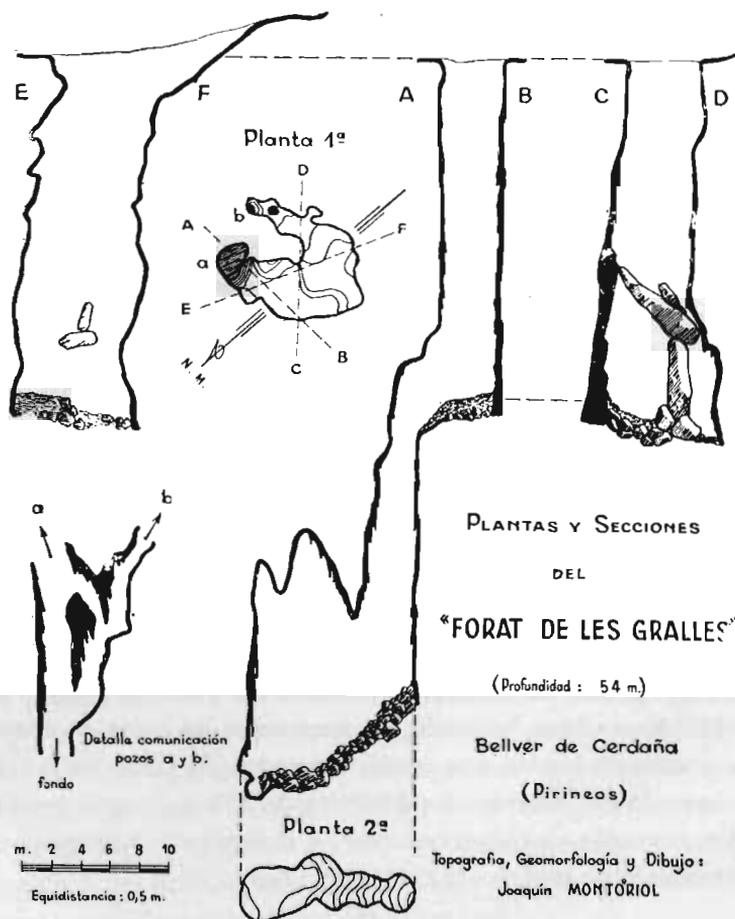


Fig. 2

primer pozo: 27 m. Profundidad segundo pozo: 18 m. Profundidad total: 54 m. Area primera planta: 48 m². Area segunda planta: 32 m². Area total plantas: 80 m².

Espeleometeorología.—a) *Datos registrados* (18^h del 17-6-50).

1) Temperatura. Exterior: 19° C. Fondo del primer pozo: 10° C. Fondo del segundo pozo: 8° C.

2) Humedad relativa. Exterior: 69 ‰. Fondo del primer pozo: 70 ‰.

3) Presión atmosférica. Exterior (a 1.409 m. de altitud): 652 mm. de mercurio. Fondo del primer pozo: 653 mm. de mercurio.

b) *Sobre la pretendida relación del «Forat de les Gralles» con la cueva de la «Fou de Bor».* Se ha venido considerando como posible una relación entre el aparato hidrológico de la «Fou de Bor» y la sima objeto de este estudio; sin negar que la absorción hídrica del «Forat de les Gralles» podría contribuir al funcionamiento de aquel sistema, mediante muy ligeras aportaciones a través de los «joints»; podemos afirmar, después de nuestras investigaciones, que no ha existido jamás una verdadera relación, en el sentido kárstico, entre ambos sistemas. Dicho de otro modo, los dos aparatos hidrológicos no han estado jamás intercomunicados por verdaderos conductos acuíferos.

En efecto, aún considerando que el sistema se halla en plena senilidad, habiendo actuado largamente sobre él la litogénesis y los procesos clásticos, es evidente que, caso de haber existido alguna comunicación, esta se hallaría representada en la actualidad, al menos mediante microfisuras, que permitirían el paso del aire (1) (13) (17) (19). Ahora bien, teniendo en cuenta que las cotas de abertura de ambas cavidades son respectivamente de 1.130 m. y 1.409 m., lo que da una diferencia altimétrica de 279 m.; y aplicando los datos registrados en el apartado «a», a la siguiente expresión que nos da la presión motriz (11) (12) (19) (20),

$$\Delta P_m = \frac{h}{10} \left(\frac{349,44 Pa_1 + 0,02 H_1}{273 + t_1} - \frac{349,44 Pa_2 + 0,02 H_2}{273 + t_2} \right)$$

(h= diferencia de cotas. Pa₁ y Pa₂= presiones en atmósferas. H₁ y H₂= humedad relativa. t₁ y t₂= temperaturas. Los afectados por el subíndice 1 son datos

internos; los afectados por el subíndice 2 son datos externos. El resultado viene expresado en gramos por cm^2).

vemos que el conjunto debía haber funcionado, caso de existir las microfisuras, como un sistema en tubo de viento (1) (3) (12). El no haberse registrado en la porción terminal de la sima, por lo demás de escasa sección de circulación, la menor muestra de una dinámica del aire, es prueba concluyente de la inexistencia de la supuesta intercomunicación.

Espeleogénesis.—Como ya hemos indicado anteriormente, en la época de su formación, la boca de la sima se abría exactamente en el talweg del torrente de Garravet, y la acción erosiva del agua se ejerció a través de un plano de falla. Los signos de erosión que se aprecian en la cavidad datan de esta época.

Posteriormente, y por haberse desplazado el talweg al SW., cesó la fase de sumidero y, con ello, el período erosivo. Siguió un proceso litogénico, que enmascaró casi totalmente las huellas de la erosión, particularmente desarrollado en las paredes que rodean el primer pozo por el NW.

El importante proceso clástico que se observa en la primera sima, es el último paso en la evolución de la cavidad, por cuanto los grandes bloques se apoyan sobre el revestimiento quimiolitogénico, sin haber quedado incluídos en él. Estos materiales clásticos no presentan sobre ellos la menor muestra de proceso reconstructivo, lo que es claro indicio de que no se han desprendido de las paredes del pozo: es por ello que tenemos que admitir que provienen de la rampa situada al SSW. de la boca. El proceso se debió engendrar por infiltraciones a través de los «joints», con la consiguiente decalcificación y ulterior deslice de los materiales por la rampa, debido a la acción de la gravedad.

Resumiendo pues, en la evolución del «Forat de les Gralles» podemos distinguir las siguientes fases:

1.º El torrente de Garravet labra un primitivo talweg. apro-

vechando como líneas de menor resistencia un plano de falla pre-existente.

2.º Las aguas aprovechan el plano de falla para su descenso, dando lugar a un proceso erosivo hipogeo. Formación de la cavidad.

3.º El torrente desplaza su talweg al SW., quedando la boca de la sima colgada 30 m. sobre él. Fin del período erosivo.

4. Proceso quimiolitogénico.

5.º Las infiltraciones a través de los «joints» provocan una decalcificación, seguida de un proceso clástico, por deslice de los bloques por la rampa SSW. La cavidad queda con la actual morfología.

RÉSUMÉ

L'aven «Forat de las Gralles» s'ouvre à 1490 m. d'altitude et à 30 m. sur le thalweg du torrent du Garravet, sur le marge droit. Aux environs de l'aven n'existent comme terrains géologiques, que le dévonien et le carbonifère, présentant souvent des contacts mécaniques.

L'aven est constitué par deux puits succesifs (27 et 18 m. de profondeur) et un plan incliné final qui arrive jusqu'à 54 m. L'ensemble des plantes occupe une surface de 80 m.².

Le Forat de les Gralles s'est formé au cours des phases suivantes: 1. Le torrent du Garravet s'est excavé sur un plan de faille. 2. Les eaux profitent de ce plan de faille pour s'infiltrer dans la masse calcaire. Origine de l'aven. 3. Le torrent évolue en se déplaçant vers le SW. et le Forat de les Gralles reste percé à 30 m. sur le thalweg. Fin du période erosiv. 4. Procés stalagmitique. 5. Infiltration par les joints, décalcification et procés clastique avec écoulement des blocs par le plan incliné finale.

D'après les observations spéléométrologiques réalisées, le Forat de les Gralles n'a aucun rapport, au point de vue kárstique avec la caverne «Fou de Bor».

L'aven est occupé par une importante colonie de *Corvus corone* laquelle à originé un dépôt de «guano» que dans certains points a un épaisseur de 2 m.

SUMMARY

The 'swallow-hole' cave known as 'Forat de les Gralles' has one mouth at 1,490 metres and another at 30 metres on the right bank of the thalweg of the Garravet torrent. The only geological formations in the vicinity are devonian and carboniferous, which are often juxtaposed.

The cave is formed of two successive wells (27 and 18 metres deep) and a final inclined passage reaching a depth of 54 metres. The surface area of the different platforms totals together 80 square metres.

The 'Forat de les Gralles' was formed in the following phases: 1) Erosion by the Garravat torrent in its course, which followed a fault formation. 2) Infiltration of the waters by reason of this fault into the limestone mass. 3) Alteration in the course of the torrent towards the SW, leaving the 'Forat de les Gralles' open at 30 metres in the thalweg. End of the erosinary period. 4) Stalagmitisation. 5) Infiltration through the joins, decalcification, and clasticisation with collapse of boulders along the final inclined plane.

Accordinato speolometeorological observations, the 'Forat de les Gralles' has, from the karstic point of view, nothing in common with the 'Fou de Bor' cave.

A large colony of *Corvus corone* inhabit the cave and the deposit of guano made by them is in some places two metres thick.

BIBLIOGRAFIA

1. *Anelli (F.)* «Osservazioni di meteorologia ipogea nelle grotte di Castel Lueghi, presso Postumia». *Le Grotte d' Italia*, ser 2.^a, vol. V.^o Trieste 1944.
2. *Closas y Miralles (J.)* «La cova de la Fou de Bor». *Sota Terra II*, edició C. M. B. Barcelona 1935.
3. *Crestani (G.) y Anelli (F.)* «Ricerche di meteorologia ipogea nelle grotte di Postumia». *Pub. Uff. Idr. Mag. Acque di Venezia*. Mem. Is. Ital. Sp., serie Geol.—Geog., mem. III. Venezia 1939.
4. *Faura y Sans (M.)* «Recull espeleològic de Catalunya». *Sota Terra I*, edició C. M. B. Barcelona 1909.
5. *Faura y Sans (M.)* «Espeleología. Coves i avenchs de Catalunya». *Geografía general de Catalunya*. Barcelona 1909.
6. *Faura y Sans (M.)* «La espeleología de Cataluña». *Mem. Real Soc. Esp. de Hist. Nat.*, T. IV, mem. 6.^a Madrid 1910.
7. *Jeannel (R.) y Racowitza (E. G.)* «Ennumeration des grottes visitées». *Bio-espeleológica*, vol. III. París 1911.
8. *Llopis Lladó (N.)* «Coves de l' Orri». *Sota Terra II*, ed. C. M. B. Barcelona 1935.
9. *Martel (E. A.)* «Neuvième campagne souterraine». *Annales du C. A. F.*, vol. XXIII. París 1896.
10. *Montoriol Pous (J.)* «Estudio geoespeleológico de dos simas en el macizo de Garraf». *Speleón*, año I, núm. 1. Oviedo 1950.
11. *Montoriol Pous (J.)* «Meteorología subterránea». *Zodiaco*, rev. de la Soc. Astr. de España y América, año II, vol. 3.^o Barcelona 1951.
12. *Montoriol Pous (J.)* «Resultado de las observaciones espeleometeorológicas realizadas durante la exploración de la sima de los Esquirols». *Speleon*, año I, fasc. 3-4. Oviedo 1950.

13. *Montoriol Pous (J.)* «Estudio geoespeleológico de la sima de la Ferla». Pi-ineos. Zaragoza (en publicación).
14. *Noir (J.)*. «L'aven du Caladaire». Rassegna Speleologica Italiana, año I, fasc. 2-3. Como 1950.
15. *Noir (J.)* y *Barone (R.)* «L'aven du Caladaire (Basses Alpes)». Nota presentada por E. de Martonne, comp. ren. de la Ac. des Sc., t. 230. París 1950.
16. *Semir y Arquer (R.)* «Bofia de Sant Jaume». Sota Terra II, ed. C. M. B. Barcelona 1935.
17. *Sommaruga (C.)* «La grotta di M. Tre Crocette». Rassegna Speleologica Italiana, T. I, fasc. 2-3. Como 1949.
18. *Thomas Casajuana (J. M.^a)* y *Montoriol Pous (J.)* «La cueva del Agua de Sierra Arana». Speleon, año II, fasc. 1. Oviedo 1951.
19. *Trombe (F.)* «Météorologie et hydrologie souterraines. Application aux massifs d' Arbas et Paloumère». Annales de Spéléologie, T. II, fasc. 2-3. París 1947.
20. *Trombe (F.)* «Gouffres et cavernes du Haut Comminges». Trav. Sc. deu C. A. F., T. I. París 1943.

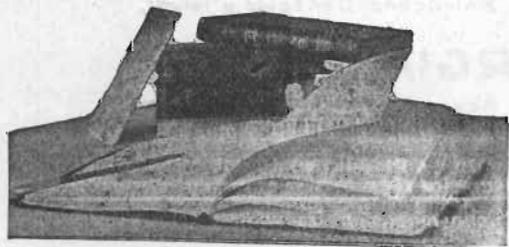
SOCIEDAD METALURGICA
"DURO-FELGUERA"

(COMPANÍA ANONIMA)

CAPITAL SOCIAL: 125.000.000 DE PESETAS

CARBONES gruesos y menudos de todas clases y especiales para gas de alumbrado -- COK metalúrgico y para usos domésticos -- Subproductos de la destilación de carbones: ALQUITRAN DESHIDRATADO, BENZOLES, SULFATO AMONICO, BREA, CREOSOTA y ACEITES pesadas LINGOTE al cok -- HIERROS Y ACEROS laminados -- ACERO moldeado -- VIGUERIA, CHAPAS Y PLANOS ANCHOS -- CHAPAS especiales para calderas -- CARRILES para minas y ferrocarriles de vía ancha y estrecha TUBERIA fundida verticalmente para conducciones de agua gas y electricidad, desde 40 hasta 1.250 mm. de diámetro y para todas las presiones -- CHAPAS PERFORADAS VIGAS ARMADAS -- ARMADURAS METALICAS DIQUE SECO para la reparación de buques y gradas para la construcción, en Gijón.

Domicilio Social: MADRID -- Barquillo. 1 -- Apartado 529
Oficinas Centrales: LA FELGUERA (Asturias) " 1



LIBRERIA

"CIPRIANO MARTINEZ"

(Sucesora: Enedina F. Ojanguren)

Plaza de Riego, 1

OVIEDO



FÁBRICA DE
MIERES
SOCIEDAD ANÓNIMA

MIERES - (ASTURIAS) - Apartado 20
Tel.º 5 - MIERES - Tel.º "Fabricaciones" - Mieres

CARBONES - Gruesos, menudos
y finos, para todas las aplicaciones.

COK - Metalúrgico y para uso doméstico.

SUBPRODUCTOS - Sulfato
amónico Alquitran Brea Creosotas,
Naftalina, Antraceno, Benzoles y Tolvol.

SIDERURGIA - Lingotes de fundición
y de afino Acero Siemens-Martin Platan-
quilla Laminados Vigas, Us, Angulares, Tes,
Redondos, Cuadrados, etc. Carriles de mina.

METALURGIA - Construcciones
metálicas: armaduras, columnas, postes
y todo clase de estructuras Forja y
Estampación Tornillería Piezas de
hierro fundido Acero moldeado

PROYECTOS Y PRESUPUESTOS



ACADEMIA ALLER

MOREDA (Asturias)

PREPARACION. TECNICOS INDUSTRIALES, BACHILLER,
COMERCIO, TAQUIGRAFIA, CAPATACES Y VIGILANTES
DE MINAS, ETC.

*Toda la correspondencia relacionada con donativos,
anuncios, suscripciones, etc., debe ser diri-
gida al Secretariado de Publica-
ciones de la Universidad
de Oviedo*

Número suelto 25,00 pesetas

*Fué impresa esta Revista en los
Talleres de la Imprenta «La Cruz»,
sita en la calle de San Vicente, de
la Ciudad de Oviedo, en el mes
de julio de 1951.*

REVISTA DE CIENCIAS

DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO (ESPAÑA)

DIRECCIÓN:

Prof. Lucas R. Pire

SECRETARÍA:

Prof. N. Llopis Lladó

La suscripción anual es de 50 ptas. para España y de 60 ptas. para el extranjero
(comprendidos los gastos de envío)

La correspondencia y suscripciones deben dirigirse al Sr. Secretario de la
REVISTA DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD DE OVIEDO
(ESPAÑA)