

**BOLETIN
DEL
INSTITUTO GEOLOGICO DE ESPAÑA**

k

II / 2-2-1

BOLETÍN

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO

DE

ESPAÑA



TOMO XLV

TOMO V

TERCERA SERIE

(1924)

MADRID

BLASS, S. A. TIPOGRAFICA, NUÑEZ DE BALBOA, 21

1924

El Instituto Geológico de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus MEMORIAS y BOLETÍN, son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

Artículo 1.º La Comisión del Mapa Geológico, nombrada por el Decreto de 26 de Marzo de 1873, que en lo sucesivo se denominará **Instituto Geológico de España**, seguirá encargada de la formación del Mapa Geológico de España, así como el trazado de las cartas geológico-industriales de las diversas provincias o regiones, por el orden y con los detalles que su respectiva importancia requieran, hasta reunir el caudal de estudios sobre estratigrafía, petrografía, tectónica, aguas minerales, manantiales artesianos, rocas y minerales aplicables a la Agricultura y a la Industria y cuanto se especifica en el citado Decreto, indispensable al conocimiento físico, geológico y minero del territorio nacional.

Artículo 12. Para el desempeño de todas las funciones y servicios reseñados en los artículos anteriores habrá una Comisión permanente de Ingenieros del Cuerpo Nacional de Minas.

Estos Ingenieros y los Auxiliares facultativos que sirven a sus órdenes formarán la plantilla técnica del Instituto.

Fuera de la plantilla estarán los Ingenieros agregados y demás personal facultativo que preste servicios temporales al Instituto.

Artículo 25. La Dirección del Instituto, teniendo en cuenta los recursos disponibles y los trabajos ultimados por los Ingenieros a sus órdenes, podrá publicar las Memorias, mapas, descripciones y noticias geológicas que juzgue oportuno, en análoga forma a la de los Boletines y Memorias de las instituciones similares extranjeras, y podrá establecer la venta y suscripción de estas producciones, a fin de que los recursos que así se obtengan contribuyan a sufragar los gastos de publicación, si bien con la obligación de remitir gratuitamente un ejemplar de cada obra a las Jefaturas de los distritos mineros, a las Direcciones Generales de los Ministerios de Fomento y Hacienda, a las Academias de Ciencias y a los Centros oficiales del Cuerpo de Minas.

(Decreto de 28 de Junio de 1910.)

PERSONAL
DE LA
COMISION PERMANENTE DEL INSTITUTO GEOLOGICO
DE ESPAÑA

<i>Director</i>	Ilmo. Sr. D. César Rubio y Muñoz.
<i>Subdirector</i>	Ilmo. Sr. D. Domingo de Orueta.
<i>Secretario</i>	Sr. D. Guillermo O'Shea.
<i>Ingenieros</i>	Sr. D. Ricardo Guardiola.
—	Sr. D. Vicente Kindelan.
—	Sr. D. Alfonso Fernández y M. Valdés.
—	Sr. D. Manuel Sancho Gala.
—	Sr. D. Manuel Ruiz Falcó.
—	Sr. D. Agustín Marín y Bertrán de Lis.
—	Sr. D. Alfonso del Valle.
—	Sr. D. Primitivo Hernández Sampelayo.
—	Sr. D. José de Gorostizaga.
—	Sr. D. Enrique Dupuy de Lôme.
—	Sr. D. Juan Gavala.
—	Excmo. Sr. D. Pedro Novo y Chicarro.
—	Sr. D. Alfonso de Alvarado.
—	Sr. D. Pablo Fernández Iruegas.

PROFESORES DE LA ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS DE MINAS
AGREGADOS A ESTE INSTITUTO

<i>Profesor de Geología</i>	Sr. D. Pablo Fábrega.
— <i>de Paleontología</i>	Sr. D. Luis Jordana.
— <i>de Mineralogía</i>	Sr. D. Enrique de Pineda.
— <i>de Química analítica</i>	Sr. D. Enrique Bayo.

BOLETIN
DEL
INSTITUTO GEOLOGICO DE ESPAÑA

PROLOGO

Se encabeza este tomo XLV, quinto de la tercera serie, con un trabajo puramente científico del ingeniero D. José Meseguer, relativo a la «Determinación de la edad de la Tierra», basándose en la teoría de la radioactividad. Es una reseña bastante completa de las investigaciones modernas, principalmente de Holmes y Gleditsch, sobre la duración de los periodos geológicos, fundándose aquél en la relación de las cantidades de Helio y Urano contenido en los zircones de las rocas sedimentarias, que determinan un mínimo para su edad, mientras que los trabajos de Gleditsch, basados en la determinación de las mezclas de radio y plomo de los minerales uraníferos, dan lugar a una cifra análoga, pero máxima.

Al mismo autor es debido el estudio de las yacimientos de azufre de las provincias de Murcia y Albacete, trabajo muy completo en el que después de desarrollar las diversas teorías metalogénicas, haciendo especial mención muy documentada de la acción reductora del sulfato cálcico por diversos organismos bacteriológicos, se entra en una descripción geológica de toda la región, a la que sigue una muy detallada de los yacimientos más importantes de esa zona, que el autor completa con reseña de explotación minera propiamente dicha, con carácter industrial.

Contiene además el presente volumen un estudio de los Ingenieros de este Instituto D. Enrique Dupuy de Lôme y D. Pedro de Novo, titulado: «Investigación del Carbonífero oculto bajo el secundario en Palencia y Santander», el cual presenta interés industrial por lo que indica acerca de probabilidades de ampliación de la importante cuenca carbonífera de Barruelo y Orbó. Corresponde dicho estudio a una serie de ellos, encaminados al mismo fin de indicar los sitios en que sería más hacedero investigar esta riqueza mineral, especialmente en casos como el ya mencionado en que se trata de una formación carbonífera cuya existencia se supone, con fundamento, bajo el manto de terrenos muertos. En el mismo trabajo se exponen consideraciones de orden tectónico y orogénico, como ensayos de lo que esta clase de conocimientos puede ayudar a la investigación minera, cuya eficacia se habrá de desprender del resultado de las investigaciones.

El Sr. Carandel, Catedrático de Historia Natural en el Instituto Nacional de segunda enseñanza de Cabra (Córdoba), aporta un bosquejo de la topografía glacial del macizo de Trampal-Calbitero (Béjar), en virtud de cuyo trabajo aspira a completar los estudios de carácter glaciológico llevados a cabo por el autor en colaboración con el profesor Hugo Obermaier y con D. Joaquín Gómez de Llarena, Catedrático en el Instituto de Jovellanos de Gijón. Sin pretender el autor haber puesto de manifiesto ninguna modalidad que no estuviera ya expuesta anteriormente, trata de ilustrar y describir, siguiendo normas geográficas lo más acordes posible con las ideas modernas, el modelado plástico que en el macizo de Béjar —poco conocido por cierto— han impreso los glaciares que, obedeciendo a dos tipos, el alpino o de valle y el pirenaico, se ha fraguado en sus cumbres la última época de la era cuaternaria.

Sigue a este trabajo uno debido al Ingeniero de Minas . Rafael Fernández Aguilar, sobre la zona argentífera de la omosierra, de gran analogía con la de Hiendelaencina, de tanto nombre. Es una zona rica en minerales, tanto lapídeos como metálicos, y muy especialmente en silicatos. Toda esta zona mineralógica y minera está resumida en el trabajo. El autor concluye con una bibliografía muy completa sobre el asunto de su trabajo.

Del Vocal del Instituto Geológico D. Primitivo Hernández Sampelayo se incluye una rectificación geológica de detalle de las cuencas del Navia e Ibeas, que es interesante dar a conocer.

Se inserta también una nota acerca del aprovechamiento de aguas torrenciales en las Islas Canarias, debida a los Ingenieros del Instituto D. Agustín Marín y D. Joaquín Mendizábal. De ella se puede deducir que, a pesar de que en general las rocas eruptivas no suelen ser aptas para constituir el vaso de los pantanos, hay casos particulares en los que por fenómenos de metamorfismo, sí lo son; y no hay necesidad de hacer resaltar la importancia que tendría para el archipiélago canario el poder utilizar las aguas de lluvia, que generalmente se precipitan al mar en forma torrencial y devastadora.

Cumpliendo el programa que se ha impuesto el Instituto Geológico de ir dando a conocer con carácter esencialmente práctico los métodos seguidos en este centro para el estudio óptico de los minerales, aparece en este tomo, y debido al Ingeniero del Instituto D. Enrique Rubio, la descripción del que se emplea para la medida de los índices de refracción, tanto de cristales relativamente grandes, como de los pequeños contenidos en una preparación delgada de una roca: El aparato generalmente empleado es el refractómetro de bola, de Abbe, modificado por Pulfrich; el autor trata de dar a estos trabajos un carácter esencialmente práctico, como guía

útil para las personas que deseen iniciarse en esta clase de investigaciones

Aparecen en este *Boletín* dos estudios hidrológicos de interés: el uno relativo a la Sierra de Mijar, debido al Vocal del Instituto, D. E. Dupuy de Lôme, precedido de una descripción geológica detallada de la región; y el otro, también muy documentado, de los ingenieros de este Centro, D. Juan Gavala y D. Javier Milans del Bosch, sobre abastecimiento de aguas potables para la ciudad de Sevilla.

Se completa por fin este tomo con varios trabajos debidos a los Ingenieros D. Juan Gavala y D. Primitivo H. Sampeyayo, sobre impermeabilidad de zonas destinadas a embalses; estudios esencialmente geológicos y que consideramos interesante dar a conocer, aun cuando no sea más que para llamar la atención de los particulares y de los poderes públicos sobre la necesidad imprescindible de llevar a cabo estas investigaciones geológicas con el debido detalle y escrupulosidad, antes de proceder a cualquier concesión de embalse, para no exponerse, cual desgraciadamente ha ocurrido en varios casos, a la construcción costosa de presas en sitios inadecuados.

La variedad de los asuntos tratados en este tomo nos hace esperar que ha de merecer del público la benévola acogida que siempre ha dispensado a las publicaciones del Instituto Geológico de España.

CESAR RUBIO.

Agosto, 1924.

DETERMINACION
DE LA EDAD DE LA TIERRA

POR LA
TEORIA DE LA RADIOACTIVIDAD

POR
JOSE MESEGUER PARDO
Ingeniero de Minas

DETERMINACION
DE LA EDAD DE LA TIERRA
POR LA
TEORIA DE LA RADIOACTIVIDAD

El problema de la edad de la tierra, ha ofrecido un gran interés a los geólogos de todas las épocas. Hutton, uno de los fundadores de la Geología, dijo hace más de un siglo que de los tiempos geológicos no existían «vestigios de un comienzo, ni pruebas de un fin», o lo que es lo mismo, que la duración de dichos tiempos era ilimitada. Posteriormente quedó modificada tal creencia y en el año 1862, Lord Kelvin calculó la edad de nuestro planeta asignándole 100.000.000 de años, pero más tarde y a consecuencia de algunas modificaciones introducidas en los datos del problema, quedaron aquellos reducidos a 20.000.000. Walcott, elevó esta cifra en 1893 hasta 70.000.000 y Sir Archibald Geikie insistió sobre la edad calculada primeramente por Lord Kelvin, aunque basándose en consideraciones distintas, y dió como probable la cifra de 100.000.000. El profesor Joly, cree también admisible este número y G. H. Darwin, ha vuelto a rebajarlo a 56.000.000 de años.

En los últimos tiempos, ha encontrado el problema una solución nueva derivada del estudio de los elementos radioactivos.

Cuando se examinan en el microscopio algunas secciones delgadas de diversos minerales coloreados (cordierita, mica,

turmalina...) pueden observarse ciertas aureolas de forma circular, que ofrecen un policroísmo muy pronunciado y aparecen dispuestas alrededor de elementos extraños que se hallan en estado de inclusiones. Tales son, por ejemplo, las aureolas que circundan los pequeños cristales de zircón incluidos en la biotita.

La causa que motiva la coloración de dichas aureolas, se atribuye por Múgge y Joly a la producción de *helio* en las zonas coloreadas en virtud de *fenómenos radioactivos* que tienen lugar gracias a la presencia de ciertos elementos: *urano*, *torio*, *radio*..., contenidos en las inclusiones. Estos cuerpos singularísimos, han proporcionado determinados datos relativos a la edad de algunos minerales —de la que se deduce la de la tierra— cuya precisión ha obligado a admitir en los dominios de la ciencia. Pero antes de que los resultados obtenidos sean expuestos, convendrá esbozar siquiera sea rápidamente, algunas de las notables propiedades de los citados elementos.

Los cuerpos radiactivos, así denominados por la propiedad que poseen de provocar radiaciones extremadamente sutiles y capaces de atravesar grandes espesores de materia, son luminosos, desprenden calor y emiten asimismo sin intervención de influencias exteriores (1) determinadas partículas que poseen grandes velocidades. La teoría de la transformación atómica, iniciada por Mr. y Mme. Curie y desarrollada con mayor precisión por Rutherford y Soddy, liga todas estas manifestaciones espontáneas y da una explicación simple de los fenó-

(1) Aunque al principio se consideró que la temperatura no ejercía acción de ningún género, mas recientemente se cree haber observado una aceleración de la actividad a temperaturas elevadas. que desaparece al enfriar. El influjo en todo caso es bien pequeño.

menos que entran en juego, indicando el origen de la energía especialísima que los produce.

La creación de elementos nuevos y ciertos cambios profundos que les llevan a desaparecer, diferencian a los cuerpos radioactivos de los otros elementos químicos. Estos notables cambios, se acompañan de una determinada radiación cuya intensidad puede valuarse exactamente permitiendo el estudio de la transformación del elemento. Así, el radio, clasificado entre los metales alcalino-térreos por sus propiedades químicas, da lugar a sales derivadas que producen de un modo continuo y sin intervención de influencias extrañas, el *niton* o emanación del radio. Este nuevo cuerpo, que obedece a las leyes conocidas a que le somete su estado gaseoso, es también radioactivo, pero la radiación *disminuye con una velocidad determinada* y al desaparecer, quedan cubiertas las paredes del vaso que contenía la emanación por un tercer elemento radioactivo asimismo y metálico, que ha recibido el nombre de *radio A*.

Los indicados cuerpos, que se ponen de manifiesto por su radiación, producen, bien emisiones de partículas soportando cargas eléctricas, como los rayos denominados α y β o ciertas perturbaciones electromagnéticas que han recibido el nombre de rayos γ .

La desaparición de los cuerpos y la génesis de elementos nuevos, debe buscarse, siguiendo a Rutherford, en los cambios experimentados por los átomos. Un átomo radioactivo no es naturalmente una partícula simple; constituye más bien un sistema complejo en equilibrio inestable, y al disgregarse, sufre metamorfosis sucesivas hasta producir un átomo dotado de la estabilidad necesaria.

La transformación consiste, con cierta frecuencia, en una

fragmentación del átomo que origina otros dos: uno de helio cargado de electricidad que forma la partícula α y otro de un cuerpo nuevo. Otras veces la transformación se reduce a una alteración de la constitución atómica interna, durante la cual, los electrones son lanzados a velocidades muy grandes constituyendo los rayos β . Pero el átomo destruido no da lugar a una constitución dotada de estabilidad, y al hacer explosión, origina ciertos desplazamientos que producen otro átomo muy diferente del que se destruyó desde el punto de vista químico. Este nuevo átomo todavía inestable, vuelve a transformarse de nuevo y de este modo, se produce una serie de mutaciones sucesivas que conducen a una constitución o edificio atómico estable.

Las transformaciones atómicas, pueden ser estudiadas porque se presentan acompañadas de una emisión de rayos y la intensidad de la radiación es proporcional al número de átomos transformados en la unidad de tiempo.

Se ha dado una teoría matemática de gran utilidad para el esclarecimiento de los fenómenos que se verifican en estas transformaciones radioactivas. En una transformación sencilla, la actividad decrece en progresión geométrica con el tiempo, y admitiendo que la ionización producida es proporcional al número N de átomos desintegrados en un segundo, se tendrá:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

siendo N_0 la intensidad de la actividad al comenzar, e la base del sistema de logaritmos neperianos, λ el coeficiente de velocidad de transformación, que es una constante característica de cada átomo y t el tiempo.

Diferenciando esta ecuación, se halla:

$$p = \frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

viéndose que el número de átomos destruidos en la unidad de tiempo, es proporcional al de los que aún existen.

Los diferentes elementos activos, poseen constantes radioactivas muy diversas que se manifiestan completamente independientes de las condiciones exteriores y de este modo, las variaciones de presión y temperatura, carecen de influencia sobre la concentración de la substancia radioactiva, resultando un carácter completamente propio de los fenómenos de radioactividad ligados estrechamente a la naturaleza atómica.

Puede formarse un concepto claro de las transformaciones radioactivas, observando que si la mitad de un determinado número de átomos se transforma en un cierto tiempo, la mitad de los que han permanecido inalterados se transforma también en el propio intervalo de tiempo consecutivo y la mitad de los que aún quedan intactos, vuelve a transformarse asimismo durante un tercer espacio de tiempo igual a los anteriores. Este intervalo que ha recibido el nombre de *período* de la substancia y se designa por T , está ligado a la constante radioactiva por una relación sencilla:

$$T = \frac{1}{\lambda} \log_e 2$$

y su valor en las diferentes substancias activas varía entre límites muy diversos, pues mientras existen cuerpos en los que apenas alcanza una duración de algunas fracciones de segundo, han sido estudiados otros en los que aquél se eleva a varios millones de años.

Considerando una serie de elementos radioactivos unidos por una filiación genética, se observa la existencia de ciertas relaciones entre las cantidades presentes de los diversos cuerpos. Una substancia activa A se transforma produciendo otra B dotada también de actividad; esta da lugar a una nuevo cuerpo C y así sucesivamente.

Supongamos que al principio sólo existe la substancia A cuya vida es mucho más larga que la de las otras. La cantidad de B, nula al principio, comienza a aumentar, pero siendo a su vez activo este nuevo elemento, empezará a desaparecer de un modo proporcional a la cantidad presente y llegará un cierto instante en que la cantidad de B destruída por unidad de tiempo, será igual a la formada por A determinando una relación entre A y B de valor constante. En tal caso, se dice que hay *equilibrio radioactivo* entre ambos cuerpos.

Del mismo modo, al destruirse B, la cantidad del elemento nuevo C a que da lugar, es también nula al principio y va aumentando para comenzar más tarde a ser destruída hasta que se establece un equilibrio entre B y C y, por consiguiente, entre A y C.

Como el número de átomos C formados por unidad de tiempo es igual al de átomos B destruídos, y al de estos mismos B formados, resultará también igual al número de átomos A destruídos obteniéndose en consecuencia, que en la unidad de tiempo se transforma el mismo número de átomos de las substancias en equilibrio. Se deduce, pues, que los diversos cuerpos radioactivos que forman la serie, tienen la misma ley de decrecimiento que el elemento originario de larga vida y cuando ha sido alcanzado el equilibrio radioactivo, las cantidades de los cuerpos existentes se hallan en una relación constante.

El estudio de los minerales radioactivos, ha permitido la comparación de los elementos en equilibrio con los demás productos de la serie, pues siendo dichos minerales de una edad muy remota, por lo menos en parte, existe la posibilidad de que los distintos productos de desintegración, se hallen en equilibrio y en caso tal, que las relaciones existentes entre ellos sean constantes.

Se conocen tres series de cuerpos radioactivos; las dos primeras, derivan, respectivamente, del *urano* y del *torio*, y la tercera, considerada hasta ahora como emanado del *actinio*, proviene seguramente de un nuevo elemento denominado *protactinio* que en época reciente ha sido aislado de la pechblenda por Hahn y Meitner, y que por desintegración da el actinio. Dicho *protactinio* parece derivarse del *urano Y* y de este modo, la tercera serie radioactiva, habría de considerarse como una rama de la serie del urano, aunque esto último no puede ser afirmado de un modo categórico.

Como origen de la primera de estas series, aparece en primer término el *urano* cuya velocidad de transformación es tan exigua que no ha podido ser valuada inmediatamente. El primer producto de transformación, es una substancia mucho más activa que ha recibido el nombre de *urano X* y que puede aislarse acudiendo a medios químicos. Las investigaciones modernas, han puesto de relieve que este urano X, lejos de constituir un elemento simple, está formado por otros dos llamados *urano X₁* y *urano X₂*. Este último cuerpo se transforma en otro que se ha denominado *urano II* de propiedades muy análogas a las del urano mismo, al paso que los grados intermedios ofrecen bastantes analogías con el *torio* y el *tántalo*. Del urano II se forma el *ionio* y éste, a su vez, da lugar al *radio*. Mientras que el ionio es muy poco conocido, el radio

aparece como el elemento activo mejor estudiado. Se descompone en *helio* y *niton* y este último cuerpo, vuelve a transformarse nuevamente en una substancia sólida que da lugar a una serie consecutiva de desintegraciones atómicas, denominadas radio A, B, C, D, E, y F, y después de estas transformaciones, termina por fin en un elemento idéntico al *plomo* (*radio G*).

La serie segunda, comienza con el *torio* que se transforma en *mesotorio I* análogo al radio y que a su vez se convierte en *mesotorio II* y en *radiotorio* cuyas propiedades químicas son semejantes a las del torio. El radiotorio se transforma en *torio X* que es otra vez análogo al radio y produce la *emanación del torio* que al igual del niton es un gas del tipo del argón. Las transformaciones siguientes, bastante semejantes a las del radio, van a terminar también en plomo.

Por último, la tercera serie comienza en el *protactinio* que se transforma inmediatamente en *actinio* de propiedades análogas a las de los metales de las tierras raras. Este elemento produce una substancia de carácter semejante al torio, que se transforma en otra análoga al radio y esta última, da lugar a su vez a una *emanación* correspondiente, del tipo del argón. Las transformaciones continúan de modo idéntico a las indicadas anteriormente y como ellas, conducen al plomo en último término.

El más importante de los hechos observados en todas estas transformaciones, es la génesis de elementos del mismo tipo que siendo enteramente inseparables, se distinguen bastante perceptiblemente por sus pesos atómicos y de un modo extraordinario haciendo intervenir el concepto de vida media. Con arreglo a las observaciones efectuadas hasta ahora, puede decirse que todas las demás propiedades de estos elementos,

son completamente concordantes, siquiera sean inseparables químicamente. Existen, pues, nuevos elementos que ofreciendo idénticas propiedades químicas, poseen distinto peso atómico y propiedades radioactivas diferentes. Estos elementos, se han denominado *isótopos* por Soddy en el año 1914, siendo conocidos 2 del urano, 5 del torio, 2 del actinio, 5 del radio, 3 del niton, 2 del polonio, 5 del bismuto, 5 del plomo y 3 del talio.

El descubrimiento de los isótopos, ha podido demostrar con certeza que el peso atómico no constituye la característica fundamental de los elementos químicos, como se ha venido creyendo desde el establecimiento del sistema periódico. De esta manera, ha sido necesario acudir a la noción de *número atómico* que es el correspondiente a cada elemento, cuando se les numera correlativamente por el orden en que aparecen colocados en la serie periódica, es decir: H = 1; He = 2;U = 92. La importancia de este número atómico, puede comprenderse gracias a la ley de Moseley: *La frecuencia de una raya dada en los espectros de los diversos elementos, es una función lineal del número atómico.*

A un número atómico dado, corresponden elementos químicamente idénticos (*isótopos*) con pesos atómicos iguales (*isótopos isobaros*) o distintos (*isótopos heterobaros*) y a números atómicos diferentes, corresponderán en todo caso, elementos químicamente distintos (*heterótopos*) con el mismo peso atómico (*heterótopos isobaros*) con pesos atómicos diversos (*heterótopos heterobaros*). Únicamente eran conocidos estos últimos, antes del descubrimiento de los fenómenos radioactivos.

Durante las transformaciones activas, tiene lugar, como ya hemos dicho, la formación de un elemento inerte, el *helio*, sabiéndose además, que un gran número de aquellas se verifica con una emisión de rayos α , es decir, de átomos de helio que

soportan cargas eléctricas. No es raro, por lo tanto, que este gas llegue a acumularse en aquellos sitios donde existen elementos activos, como se ha comprobado especialmente en los minerales de urano y de torio que llegan a contener el citado cuerpo en proporciones bastante notables.

En los minerales antiguos, ha podido establecerse el equilibrio radioactivo, merced al gran lapso de tiempo transcurrido y de este modo, se han destruído en cada segundo cantidades iguales de los diferentes cuerpos. Así, expresar que hay emisión de una partícula α mientras se verifica la transformación de un átomo, equivale a decir que en todos los cuerpos que desprenden rayos α se transforma el mismo número de átomos por segundo.

El recuento de las partículas α , una de las más bellas experiencias de los últimos tiempos, se ha efectuado por dos procedimientos distintos que han dado resultados bastante concordantes. De esta manera, se han valuado las partículas α emitidas por el urano, tanto cuando está aislado, como en el caso en que aparece en equilibrio con los productos originados por su desintegración. Un gramo de urano en equilibrio, emite $9,7 \times 10^{-4}$ partículas α por segundo, lo que corresponde a una producción de helio de $1,88 \times 10^{-11}$ gramos, o bien, $10,7 \times 10^{-8}$ centímetros cúbicos durante cada año. El urano aislado, emite, en cambio, la octava parte de la citada masa de helio y el resto es debido, naturalmente, a la radiación de los siete elementos activos que desprenden partículas α y deben su formación a las sucesivas disgregaciones del átomo de urano.

Strutt, ha encontrado por vía experimental, que una masa de mineral uranífero equivalente a un gramo de urano, produce cada año $10,6 \times 10^{-8}$ centímetros cúbicos de helio, cuyo

resultado, como puede verse, es bastante aproximado al indicado primeramente.

La formación de radio G (isótopo del plomo) no ha podido, en cambio, ser verificada experimentalmente, pero los resultados obtenidos con el helio, bastan para calcular la cantidad de aquel elemento producida en un año, porque como un átomo de urano forma otro de radio G después de la emisión de 8 de helio, es claro que estos 8 átomos se han formado durante el mismo tiempo que una de radio G.

Hemos visto que un gramo de urano produce al año: $1,88 \times 10^{-11}$ gramos de helio, y por lo tanto, producirá de radio G:

$$\frac{1}{8} \cdot \frac{226}{4} \cdot 1,88 \cdot 10^{-11} = 1,21 \times 10^{-11}$$

Si la transformación del urano contenido en un mineral se ha efectuado a velocidad constante, será posible determinar la edad de aquél valuando las cantidades de helio y radio G que, como consecuencia de la desintegración atómica, habrán debido originarse. Pero dichas cantidades no son constantes, porque la velocidad de transformación del urano en un instante dado, es proporcional a la masa inalterada y ésta disminuye, como es lógico, por la actividad del elemento. Así, las cantidades de los productos de desintegración formados, irán disminuyendo con el tiempo y por otra parte la transformación del urano es tan sumamente lenta que son necesarios 400 millones de años para que la velocidad inicial disminuya en un 5 por 100. Nada se opondrá, sin embargo, a que estas pequeñas variaciones se hayan tenido en cuenta, como efectivamente ha ocurrido, en las determinaciones de la edad de ciertos minerales.

Para llevar a cabo aquéllas en un determinado mineral, es naturalmente preciso: en primer término, que el plomo y el helio no estuviesen presentes cuando se formó el mineral estudiado; después, que ni estos elementos ni cualquiera otra substancia capaz de originarlos, hayan sido introducidos o eliminados de dicho mineral por cualquier circunstancia extraña; por último, que los citados cuerpos no deban su origen a otras transformaciones que las tomadas en consideración.

De un modo aproximado, se calcula, pues, la edad de un mineral, del modo siguiente:

$$\frac{\frac{\text{He}}{\text{U}}}{10,7 \cdot 10^{-8}} \text{ años} = \frac{\text{He}}{\text{U}} \cdot 9,3 \text{ millones de años}$$

o bien:

$$\frac{\text{Radio G (plomo)}}{1,21 \cdot 10^{-10}} \text{ años} = \frac{\text{Radio G (plomo)}}{\text{U}} \cdot 8.200 \text{ millones de años.}$$

Debe observarse, que la formación de helio puede ser debida, tanto a la transformación del urano, como a la del torio, circunstancia que se ha tenido presente en las valuaciones de la edad de los minerales que aparecen en las obras antiguas, por ser conocida desde hace tiempo. En cambio, ha suscitado ciertas dudas la consideración de que el torio puede dar origen, por desintegración atómica, a un isótopo del plomo dotado de estabilidad. En las observaciones anteriores, se ha prescindido de esta circunstancia o se ha apreciado de un modo inexacto la cantidad formada del isótopo del plomo procedente del torio y a esto se debe que tales determinaciones, las más antiguas especialmente, vengán afectadas de ciertos errores.

Por lo que respecta a las dos primeras condiciones ya

expresadas, que exige una valuación aceptable, debe indicarse el modo de formación de los minerales tal y como se comprende por los geólogos modernos (1) estableciendo en primer término si los minerales que se encuentran en las rocas tienen la misma edad que ellas o son, en cambio, más antiguos.

En la mayor parte de las rocas eruptivas, los minerales que las forman tienen la misma edad que ellas y se remontan a la época de la solidificación magmática, mientras que las especies que por el contrario, aparecen en las masas sedimentarias, fueron originadas en una época bastante anterior a la formación de los estratos. Generalmente proceden de ciertas rocas eruptivas y se han formado a espensas del magma que dió lugar a éstas. En tal concepto, deben considerarse como primarios los elementos minerales de las rocas ígneas que provienen, como decimos, de la cristalización de un magma fundido. Este magma, constituye un baño en el que permanecen disueltos los elementos en tanto que la solubilidad de éstos es proporcionada al grado de dilución de aquél. De esta manera, los minerales formados por estos constituyentes cristalizarán en primer término, pero como la masa fundida pierde su homogeneidad, existirá una separación de cuerpos raros que dará origen a un magma particular, seguramente el último en solidificarse.

La solubilidad en el magma, del urano y del torio, es relativamente pequeña, y así, en la formación de los minerales que cristalizan primeramente (apatita, zircón, etc.), sólo debe intervenir una mínima parte de los citados elementos. Pero más tarde, la solubilidad de éstos, les obliga a formar un magma especial que produce ulteriormente los minerales uraníferos y toríferos.

(1) Holmes — The Age of the Earth.

Consideremos, en segundo término, la distribución del helio y del plomo que pudieran encontrarse en el magma fundido. El primero, es de suponer que se escape libremente en su mayor parte, dado su estado gaseoso y de este modo, aumentan las probabilidades de que los minerales de urano y de torio, se hallen libres al formarse, de tal elemento. En cuanto al plomo, debe observarse que no constituye un elemento propio de las rocas eruptivas, siquiera pueda encontrarse en ellas en proporciones pequeñísimas.

Es, por lo tanto, posible la presencia del plomo y del helio en las rocas ordinarias y con toda probabilidad, las cantidades existentes al principio son mucho más importantes que las originadas por las transformaciones radioactivas. Se comprende, pues, que una determinación de la edad de la roca, basada en las proporciones de helio y plomo, habrá de ser seguramente errónea.

No ocurre lo propio cuando se trata de los minerales uraníferos y toríferos propiamente dichos, pues en ellos las cantidades iniciales de plomo y helio, serán probablemente harto pequeñas si se las compara con las acumuladas en virtud de los fenómenos radioactivos. Basta observar, por ejemplo, que el zircón contiene 100 veces más helio que la roca en que aparece y que esta proporción se eleva a 1.000 en el caso de los minerales de torio y urano.

Debe también considerarse si el plomo y el helio producidos, no habrán desaparecido en parte de los minerales que los contienen. Probablemente el estado gaseoso del helio será causa de un cierto desprendimiento que resulta favorecido evidentemente por las fisuras de los minerales y así, es casi seguro que las especies no posean todo el helio formado. Por lo tanto, las determinaciones de edad basadas en el contenido en helio, sólo deben considerarse como valores mínimos.

El radio G y el plomo, no pueden desaparecer, en cambio, con tanta facilidad, sobre todo en algunos minerales que ofrecen una extremada resistencia a los agentes epigenéticos y en tal concepto, cabe admitir que los valores de las edades obtenidas por medio de la relación plomo-urano, sean bastante aproximados a la verdad en tales especies.

Strutt, ha realizado algunas determinaciones valiéndose de la relación helio-urano, en diferentes especies de zircón de diversas procedencias. Estas investigaciones, han ofrecido cierto interés, tanto porque los minerales son casi inalterables, como por haberse podido fijar con bastante certeza la edad de las rocas que les acompañaban.

He aquí los resultados obtenidos:

PROCEDENCIA	Contenido por gramo de zircón.					Sistema Geológico.	Edad en millones de años.
	He c. c. $\times 10^{-4}$	U ²³⁸ gr. $\times 10^{-4}$	TbO ³ gr. $\times 10^{-4}$	U ²³⁵ Total gr. $\times 10^{-4}$	He U		
Mayen, Eifel.	1,14	12,70	0,00	12,70	0,09	Pleistoceno.	1
Campbell I. N. Z.	0,81	3,17	8,00	3,62	0,22	Plioceno.	2,5
Expailly (Auvernia).	2,12	3,72	0,00	3,72	0,57	Mioceno.	6,3
Brevik (Noruega).	98,80	13,30	32,70	20,00	4,94	Devoniano.	54
Cheyenne Canon.	193,00	12,80	11,40	15,10	12,80	Arcaico a Cambriano.	141
Green River.	255,00	12,90	30,10	19,00	13,40	Arcaico a Carbonífero.	147
Ural.	300,00	6,34	46,50	15,80	19,00	Predevoniano.	209
Cellán.	210,00	6,57	19,80	10,60	19,80	Arcaico.	286
Blue Ground.	323,00	10,80	1,32	11,10	29,20	Arcaico.	321
Sebastopol (Ontario).	114,00	1,83	0,92	2,02	56,60	Arcaico.	622

El examen de este cuadro, hace ver la frecuente que es la presencia del torio en los minerales de zircón. Por esta causa, ha sido necesario calcular la cantidad de óxido de urano capaz de producir otra de helio igual a la originada por el óxido

hallado, y agregarla a la proporción de óxido de urano que hizo conocer el análisis.

Como puede observarse, la relación helio-urano, va creciendo con la antigüedad de los minerales deducida por consideraciones exclusivamente geológicas, lo que hace ver la concordancia de los resultados obtenidos química y geológicamente. Desde luego y teniendo en cuenta lo que hemos indicado, los valores absolutos de la edad de los zircons, deben ser considerados como un mínimo.

Boltwood, ha efectuado asimismo algunas determinaciones basadas en la relación plomo-urano, haciendo notar la *constancia* de la relación de estos elementos en diversos grupos de minerales radioactivos, de origen y procedencia idénticos.

Algunas uraninitas cristalizadas de Glastonbury y Portland (Estados Unidos), han dado valores de la relación plomo-urano, que oscilando entre 0,039 y 0,042 les hace asignar una edad de 340 millones de años. Los minerales estudiados, se hallan en una pegmatita acompañada de granito que ha penetrado en las rocas sedimentarias carboníferas y así, estas últimas, resultan más antiguas que la referida pegmatita, la cual, geológicamente debe pertenecer al carbonífero superior.

Otras uraninitas cristalinas de Connecticut han dado relaciones variables entre 0,051 y 0,052 cuya constancia, harto notable, hace elevar su edad a 430 millones de años. Como las rocas sedimentarias atravesadas por la eruptiva que contiene los minerales estudiados, son probablemente ordovicenses, desde el punto de vista geológico, dichos minerales pertenecen seguramente al fin de esta época y son, por lo tanto, más antiguos —como ha hecho ver el cálculo— que los comprendidos en el grupo precedente.

Otras uraninitas de Moss y Arendal (Noruega), ponen de

manifiesto los valores de la relación plomo-urano que siendo aún más elevados que los anteriores (0,13 en las primeras y 0,15 en las de Arendal) les hacen poseer edades de 1.000 y 1.200 millones de años, respectivamente. Tales conclusiones, se hallan también en perfecto acuerdo con las observaciones geológicas que les asignan una edad arcaica, es decir, bastante anterior al carbonífero y al ordovicense.

Recientemente, la señorita Ellen Gleditsch, ha realizado investigaciones de algunas bröggeritas de Moss y Raade que pueden considerarse bastante exactas. Suponiendo que el plomo procedente de un mineral uranífero esté constituido por una mezcla de radio G y de plomo ordinario cuyos pesos atómicos son, respectivamente, 206 (según el cálculo) y 207,15 existe el medio, gracias a una determinación del peso atómico, de calcular la verdadera cantidad de radio G, lo que unido a una minuciosa dosificación del urano, hace posible valuar la edad exacta del mineral. De esta manera, ha encontrado para las referidas bröggeritas, una existencia de 950 millones de años. Los diques de pegmatita de donde proceden dichos minerales, se hallan asociados a ciertos granitos que según Brögger están comprendidos en la formación de Fredikshald y como esta formación es muy verosímilmente de la misma época que los granitos de Estocolmo, pertenecientes al período arcaico, se deduce que la edad de este último podría valuarse en 950 millones de años.

A continuación aparece el cuadro que comprende las edades de las diversas épocas según Holmes:

Edades geológicas en millones de años:

SISTEMAS	Por el helio.	Por el plomo.
Pleistoceno	1	»
Plioceno	2,5	»
Mioceno	6,3	»
Oligoceno	8,4	»
Eoceno	30,8	»
Cretáceo	»	»
Jurásico	»	»
Triásico	»	»
Permiano	»	»
Carbonífero	145	340
Devoniano	146	370
Siluriano	209	430
Cambriano		
Precambriano	»	1000-1200
Arcaico	710	1400-1600

Como puede observarse, y ya hemos indicado, las cifras obtenidas acudiendo a la relación helio-urano, son menores que las que se derivan de la relación plomo-urano, puesto que el helio por su estado gaseoso, posee una mayor facilidad que el plomo para desaparecer de los minerales.

Las cifras de la segunda columna, ofrecen desde luego alguna incertidumbre, por el hecho de ignorarse la verdadera proporción de radio G contenida en la masa total de plomo de los minerales y en este sentido, las cifras más próximas a la realidad parecen ser las deducidas por la señorita Gleditsch. Con todo, los resultados obtenidos corroboran el orden de los diversos períodos establecido por los geólogos basándose en consideraciones harto distintas.

En ambos casos, es necesario admitir desde luego, que la duración de los fenómenos, tanto geológicos como radioactivos, ha sido idéntica en los diferentes períodos de la historia terrestre. Pero mientras carecemos de una base firme que permita el establecimiento de esta hipótesis con respecto a los fenómenos geológicos, parece verosímil, en cambio, la idea de la uniformidad de las transformaciones radioactivas a través de los siglos, si se tiene presente la nulidad de la influencia de los agentes exteriores en la velocidad de aquéllas.

ESTUDIO
PARA LA
INVESTIGACION DEL CARBONIFERO OCULTO
BAJO EL SECUNDARIO
DE PALENCIA Y SANTANDER
ENRIQUE DUPUY DE LÔME
y
PEDRO DE NOVO
INGENIEROS DE MINAS

ESTUDIO
PARA LA
INVESTIGACIÓN DEL CARBONIFERO OCULTO
BAJO EL SECUNDARIO
EN PALENCIA Y SANTANDER

Hace algún tiempo el Instituto Geológico se ocupa, como una de las más importantes misiones que le incumben, según las bases de su organización en 1910, de la investigación de la riqueza minera, utilizando el gran caudal de conocimientos reunidos durante tantos años de trabajo desde que se creó la antigua Comisión del Mapa. Así abordó casi a la vez la investigación de sales potásicas en Cataluña, de platino en la Serranía de Ronda, de aguas subterráneas en todo el país y especialmente en la Región SE., de petróleos, también en todo el territorio y, en fin, el estudio de la problemática prolongación de las cuencas carboníferas, impuesto por la conveniencia de conocer cuanto antes el caudal hullero de España, tan relacionado con el porvenir de su industria y sus posibilidades de nacionalización.

Después del estudio de D. Luis de Adaro sobre la probable prolongación de la cuenca asturiana se imponía emprender el de otras cuencas españolas, tales como las de Palencia, León, Burgos, Logroño, Ciudad Real, Córdoba y Sevilla.

Dentro de este plan general, nos correspondió estudiar la zona limítrofe de las provincias de Santander y Palencia, o sea,

reconocer la prolongación de la cuenca carbonífera de Barruelo y Orbó.

Para ello planteamos el problema en la siguiente forma: como el carbonífero acaso se prolongue bajo otros terrenos más modernos, necesitábamos saber: 1.º Qué composición, espesor, estructura y trastornos presenta en la región el que se trata de investigar; 2.º Terrenos que lo cubren, su espesor y disposición; 3.º Profundidad que han de alcanzar los sondeos en busca del carbonífero y en qué puntos deben practicarse; 4.º Ventajas que reportarían los sondeos y probabilidades de que el carbonífero hallado fuese industrialmente explotable.

Para su mejor comprensión dividiremos este estudio en los siguientes puntos:

El carbonífero de Orbó y Barruelo.

Descripción de los terrenos más modernos que cubren al carbonífero.

Estudio tectónico de la comarca y sus consecuencias.

Situación y profundidad de los sondeos.

Consideraciones industriales.

Conclusiones.

EL CARBONIFERO DE ORBÓ Y BARRUELO

La mayor mancha carbonífera del N. de España es la asturiano-leonesa, separada de otras menores de Palencia y de León. El sistema carbonífero asoma también en Santander, pero representado casi sólo por la caliza de montaña.

Dentro de la gran mancha asturiano-leonesa, en las calizas carboníferas, distinguió Barrois dos tramos: el inferior, griotte, o caliza marmórea amigdalóide, que alterna con pizarras o se presenta en nódulos dentro de esta roca y es hori-

zonte muy constante en la zona pirenaica; en Asturias sólo tiene 30 m. de espesor, insignificante si se compara con las masas que forman el piso siguiente: la caliza de montaña o de hoces, roca gris-azulada, muy compacta, a cuya formación han contribuido los corolarios y, aún más, los crinoides.

También existe en Asturias el Culm, que forman alternancias de calizas y pizarras y conglomerados que establecen, al parecer, el tránsito del régimen marino al continental; hay en este piso una docena de capas explotables de hulla.

El piso medio o westfaliense comienza, según Adaro, por conglomerados cuarzosos a los que siguen areniscas y pizarras y contiene 45 capas, sin contar lechos delgados inexplotables; como el terreno está muy plegado cada capa aflora varias veces.

Otras manchitas asturianas son restos desgajados de la principal o separados de ella superficialmente por terrenos más modernos. La cuenca de Tineo pertenece al piso superior o estefaniense, lo mismo que la occidental de León.

En el NE. de León y NO. de Palencia, existen las cuencas de Ciñera y Matallana y la de Sabero. Las de Valderrueda y Guardo quedan limitadas al N. por la caliza carbonífera y al S. por el cretáceo; sus capas pertenecen al carbonífero medio, que a veces cobijan las calizas del inferior. La cuenca de Barruelo, Orbó y San Cebrián de Mudá forma el extremo SE. de la gran mancha carbonífera.

La faja de la cuenca de Guardo va estrechándose hacia el E. y desde Cantoral hasta Cervera, donde termina, tiene sólo 300 m. de anchura y se oculta bajo terrenos modernos.

Se ha comprobado que el hullero buza al sur por debajo del cretáceo y que contiene varias capas explotables de antracita.

Quizás exista una falla importante que separe el hullero del cretáceo.

Dentro de la cuenca hidrográfica del Pisuerga hay dos hulleras: la de San Cebrián de Mudá y la de Pernía; en la primera se hallan, al NO. de San Cebrián, tres bancos de caliza inclinados 45° al NE. sobre los que yacen tres capas de hulla. En el extremo oriental de la cuenca sobresale un banco de pudinga casi vertical, arrumbado al NE., y al sur del cual se cortaron tres capas. Opina el Sr. Oriol que las de esta cuenca corresponden al subtramo antracitifero del hullero inferior y cree probable una inversión en su extremo meridional, pues las capas halladas junto al mencionado banco de pudinga tal vez sean continuación del grupo inferior de Barruelo, si dicha pudinga corresponde a la que existe en este último punto entre las capas segunda y tercera; en tal caso habría en San Cebrián dos grupos: el meridional, perteneciente al subtramo antracitifero del hullero, y el septentrional del subtramo inferior del hullero medio.

Al NO. de San Cebrián se extiende la formación hullera hasta los confines de Santander donde la limitan al N. la divisoria cantábrica, al E. la sierra de Redondo, al S. el Pisuerga, y al O. los montes de Polentinos y Levanza; contiene algunas manchas triásicas y cretáceas y asomos hipogénicos. La sierra de Vergaño la separa de la cuenca de San Cebrián y la caliza de montaña la rodea, menos por el E., donde la limita una faja triásica.

Las capas carboníferas de Pernía se alinean al NNO. y se han reconocido hasta tres. Mas al O., en el valle del Pisuerga, existen dos tramos distintos: el inferior, de 250 m. de anchura, compuesto de pizarras y areniscas, y el superior, que también tiene capas de hulla y separado del primero por una faja estéril

de 300 m. de pizarras. Según Oriol las capas de San Felices corresponden a las de San Cebrián y las de San Salvador de Cantamuga al subtramo antracitifero del hullero inferior.

En la provincia de Santander predomina la caliza de montaña y las únicas señales de hulla conocidas se reducen a delgados lechos que asoman al NE. de Puente Pomar en el Valle de Poblaciones, en la Liébana y en el Puerto de Sejos. Sospecha Mallada que son bancos incluidos en las pizarras que se intercalan en los conglomerados cuarzosos del hullero inferior. Debemos añadir a las citadas la delgada capa que hemos observado cerca de Reinosilla y otra, más importante, en la mancha carbonífera de Puente Viesgo situada al pie del Pico Dobra.

Afirma también Mallada que se advierte estratificación horizontal en algunos sitios de los Picos de Europa, aunque estas masas calizas están cortadas en agujas y columnas a causa de la intensísima denudación originada por su enorme altitud de 2.600 m., lo que, unido a la escasa distancia (22 kilómetros en línea recta) que las separa del mar, explica que la denudación sólo haya dejado la caliza en sus vertientes N. y NO., mientras que en las S. y SO. subsisten algunos restos de varios tramos hulleros. Tampoco es fácil ver la estratificación en los picos y crestas que forman los conglomerados, pizarras y areniscas que se extienden al O. de Mogrobejo y reaparecen cerca de la Canal del Asno, sobre las fuentes del Deva.

Hay otras manchitas en la provincia de Santander: la más importante es la que se extiende de Caldas de Besaya a Puente Viesgo, formada por caliza de montaña, y dentro de la cual hallamos la mencionada faja hullera.

En el extremo oriental de la gran mancha carbonífera de Asturias, León y Palencia, y rodeadas por el triás, están la

cuenca de Barruelo y Orbó y la de San Cebrián (lám. 1); llamaremos a la primera, de acuerdo con Mallada y Sánchez Lozano, cuenca del Rubagón, nombre del río que la atraviesa; la de San Cebrián debe considerarse cuenca aparte a causa de sus trastornos y fallas que no existen en la del Rubagón y porque sus estratos tienen diferentes dirección y buzamiento.

Dentro del triás que rodea a la cuenca del Rubagón, a unos 5 kms. al N. de Brañosa, asoman bajo la pudinga triásica unas pizarras discordantes con ella, indudablemente carboníferas, y allí se advierte una falla que se trueca en sinclinal en el valle de Salcedillo y Reinosilla donde se vuelve el sinclinal en falla con un movimiento de báscula que descubre al carbonífero.

En el anfiteatro de montañas que rodean a Orbó forma el triás una faja continua que se destaca con claridad y llaman en la comarca *cintos colorados*. Allí se nota el cambio de dirección y buzamiento de las capas que en la parte meridional es de 45° al SO. y hacia la septentrional van tendiéndose al S. al SE. y al E.; a levante de Orbó buzan 20° al E.

Las capas carboníferas de Barruelo buzan de 60 a 70° al E. y aunque se han explotado bajo el borde del triás, ignórase hasta donde llegan, pues aun en los pisos profundos de la mina no se observa que las capas sean más horizontales.

Entre Barruelo y Santa María de Nava los estratos carboníferos forman primero un anticlinal (el de Revilla) y luego un sinclinal, cuyos ejes se orientan de NO. a SE. En un corte normal a la dirección de las capas advertimos que el hullero se compone de pizarras arcillosas con gran variedad de textura, composición y color; son psamitas y areniscas de grano fino y mediano y algunos bancos de pudingas de gruesos elemen-

tos; en este itinerario no hallamos la caliza carbonífera infra-yacente, pero más al S. el anticlinal está denudado y afloran en el fondo del valle los bancos de caliza del carbonífero inferior.

La carretera de Brañosa a Barruelo bordea al triás que ciñe el valle en cuyo fondo y ladera occidental asoma el carbonífero; en los desmontes se observa la alternancia de los conglomerados y areniscas del triás en bancos hasta de 2 m. de espesor. Las pizarras carboníferas inclinan 70°, y a unos 2 kms. al N. de Barruelo se ven los afloramientos de las capas del horizonte superior que se explotan en dicha zona minera.

Así, pues, la situación relativa del triás y el carbonífero es casi constante en todo el perímetro de la cuenca del Rubagón.

En su parte occidental se alzan los Castrillos, el rasgo orográfico más saliente de la localidad; sus cumbres cortadas casi a pico, contrastan con los montes que forman las pizarras carboníferas, de laderas suaves, y con las cimas triásicas que, aunque abruptas y ásperas, no presentan grandes tajos ni cortados.

Forman los Castrillos enormes bancos casi verticales de cuarcitas durísimas, pardas o rojizas. Tanto por la composición y textura de la roca como por la disposición de sus bancos creemos que esos acantilados corresponden al sistema siluriano, aunque no lo afirmamos en absoluto, pues ésta clasificación debe apoyarse en el hallazgo de fósiles característicos. Sólo apuntaremos que el Ingeniero de Minas Sr. Luschinger, halló en aquellos cerros, con posterioridad a nuestra visita, un bilobites que supuso rodado, pero que creemos procede de dichas cuarcitas, que han resistido a la intensísima erosión que allí producen el agua y las heladas.

Esta montaña es una caprichosa solución de continuidad

dentro de la zona carbonífera y en el borde de la triásica que la limita por el sur; forma un pliegue en abanico cuyo núcleo se compone de las citadas cuarcitas, y las ramas de la pizarras rojizas oscuras y ferríferas, probablemente silurianas, y también de la caliza de montaña cobijada por la roca más antigua, a causa de la inversión que supone la mencionada clase de pliegues.

Rodeando a este asomo siluriano, comienza el carbonífero inferior con una arenisca pardo-amarillenta ferrífera; es un nivel discontinuo y cubierto a trechos con terrenos de aluvión; encima se presenta la caliza carbonífera fosilífera, que cruzan muchos filones de calcita. Todo este carbonífero inferior se encorva al NO. y cambia de dirección hacia San Cebrián; con los mismos caracteres se extiende hasta unos 2 kms. al SO. de Santa María de Nava, donde lo ocultan los conglomerados de la base del triás.

Comienza el hullero de Barruelo con pizarras y areniscas muy parecidas a las del carbonífero inferior, pero con impresiones de calamites. Encima está la roca característica del tramo hullero: un conglomerado de cantos de cuarcita con cemento silíceo y ferruginoso; el *millstone grit* de los ingleses. Desde este horizonte hasta el triás se desarrollan los niveles productivos. Sobre el banco de conglomerado hay un nivel con vetas de carbón que forman la capa núm. 1, cuyo techo son pizarras con óxido y pirritas de hierro; dista 20 m. de la segunda. El muro de las capas segunda y tercera, que distan entre sí, 30 m., es idéntico al de la primera, formado por los conglomerados que desaparecen a partir de la capa tercera; la cuarta, dista 25 m. de la tercera y encaja en pizarras idénticas a las antes citadas. En las cuatro primeras capas se encuentra el género *Annularia*, en la cuarta empiezan los

Pecopteris. Su riqueza paleontológica aumenta conforme son más modernas.

Desde la capa cuarta se intercalan entre el techo de una capa y el muro de la siguiente lechos de arenisca compacta y muy dura, que alternan con pizarras negras, hojosas y satinadas, circunstancia que diferencia estas capas de las cuatro primeras. Además todas presentan bajo su techo una camada de pizarras carbonosas. De la capa cuarta a la quinta hay 108 m.; 19 entre la quinta y la sexta; 31 entre la sexta y la séptima; 80 entre la séptima y la octava y 31 entre la octava y la novena.

Según se asciende por la serie estratigráfica, aumentan las especies de *Annularias*, *Neurópteris* y *Pecopteris* y luego empiezan las *Sigilarias* y *Lepidodendron*. No es probable la existencia de más capas entre estos dos sub-grupos que constituyen el grupo inferior y a los que separa un espesor de 500 m.; los 74 primeros son pizarras compactas, muy duras; luego, hay un tramo de 150 m. de arenisca como las que preceden al tramo cuarcitoso; después, 130 m. de pizarras compactas y arcillosas que alternan con areniscas; encima, 32 m. de areniscas cuarcitosas sin pizarras intercaladas; luego, 50 m. de pizarras compactas; y, por último, hasta la capa décima, alternan constantemente las rocas ya nombradas. Esta zona estéril de separación es más estrecha en la región NO., y más ancha en Orbó.

La capa décima dista 8 m. de la undécima; su techo y muro son de pizarras blandas, lo mismo que los de la undécima y duodécima, que, en realidad, forman una sola.

En la rama meridional del anticlinal de Revilla, o sea, en la opuesta a Barruelo, hay algunas capas de carbón de muy poca importancia, y la más significada es la que se explota en las

minas «Mac-Kinley», comprendida entre pizarras de igual aspecto que las del tramo superior del grupo inferior que buza al S. y se arrumba lo mismo que las de Barruelo-Orbó.

En pleno hullero hay entre las capas de carbón masas de calizas muy bien estratificadas que en Orbó asoman entre las pizarras y los afloramientos de dos capas, y en Barruelo se ven en grupo inferior, en medio de pizarras carboníferas; la disposición de estas masas calizas demuestra que son erráticas arrancadas de su sitio por los movimientos orogénicos y arrastradas por encima de los terrenos más modernos.

En Orbó el hullero forma una faja de NO. a SE. Su base son conglomerados del sub-tramo inferior del hullero medio; encima hay areniscas y pizarras con capas de carbón en dos grupos separados por una zona estéril de 600 m. de anchura máxima; los fósiles vegetales indican que las capas del grupo más alto corresponden al hullero superior.

Se apoya el hullero en una faja de caliza carbonífera que desde Orbó se dirige hacia el NO. por el S. de Barruelo; debajo de esta caliza hay un horizonte de 1.000 m. de anchura de margas, pizarras y areniscas sin carbón.

Las capas de carbón buzán 60° al NE., son muy regulares, en algunos sitios presentan fallas y en otros se levantan hasta la vertical. Sobre el hullero, desde el alto de Cuenca, el NO., se apoyan pudingas y areniscas triásicas que buzán al NE.

No hay duda que en la faja descubierta los estratos forman serie continua sin repeticiones por plegamiento; en los trabajos mineros de Orbó y Barruelo persisten en la misma inclinación y buzamiento; no se adivina si quedarán interrumpidos bruscamente por una falla o si forman un pliegue recostado como se indica en el corte; cuestión de verdadera importancia para las investigaciones bajo el triás.

En el grupo inferior de Orbó hállanse primero 150 m. de caliza correspondientes a las que asoman en el pueblo; sobre este conjunto está el paquete de capas.

La primera capa tiene poco valor; a los 25 m. de ésta hay un banco de 15 a 20 m. de pudingas de gruesos elementos, y a los 90 m. de la pudinga la capa segunda, con techo y muro de pizarras; a los 10 m., y también en pizarra, se halló la tercera, de 1,20 m. de espesor. A los 45 m. de la tercera una veta de arcilla carbonosa, y a los 200 m. de la tercera, la cuarta, de 1 m. de espesor y también en caja de pizarra.

La quinta dista 11 m. de la cuarta, tiene 1,50 de espesor y se halla comprendida entre techo de pizarra blanda y muro de pizarra consistente. A los 65 m. de la quinta, está la sexta, de 1,20 m., y a los 25 m. la séptima, con 1,30 m. De la séptima a la octava hay 25 m., presentándose en el yacente de la última un banco de pizarra recia con crinoides y varias especies de *Productus* y *Spirifer*; tiene 0,80 m. de potencia. La capa novena dista 70 m. de la octava, que en Orbó no se ha investigado por creérsela estéril; 103 m. más allá está la décima que no se ha explotado por su escaso espesor de 0,30 m.

El grupo superior se reduce a dos capas explotables que sólo lo han sido en la región NO. y paraje denominado Perarjido; las separan del grupo inferior 600 m. de roca estéril y hay 11 m. una de otra; la capa undécima o del S., es de 0,70 m., y la duodécima o del N., de 1 m.; en su techo de pizarra fuerte hay gran profusión de restos vegetales, y en el muro una caliza arcillosa gris-oscura con restos de grandes conchas marinas.

Conviene indicar que se han hallado afloramientos de carbón en el collado de Orbó o de Buenaventura y que se han

atribuido a la capa del N. del grupo superior, y de ser cierto, habría que reducir a 300 m. la zona estéril que separa ambos grupos; pero en realidad, la del collado no debe corresponder a la supuesta, pues su muro es de arcilla arenosa, muy ferruginosa, sin caliza y con pequeños gasterópodos, y el muro de la N. del grupo superior es de caliza arcillosa con grandes *Spirifer* y otros fósiles marinos. Lo probable es que si continúan al SO. las capas de carbón del grupo superior, estén ocultas bajo las pudingas triásicas del collado.

Las capas orientadas de NO. a SE., buzan 70° al NE. Un kilómetro al N. de Barruelo se tienden más los estratos, pero poco después recobran su buzamiento normal de 60 a 80° al NE.; las capas son muy arcillosas, menudamente estratificadas y muy regulares en su disposición y textura, aunque discontinuas; raro será el paraje donde una labor transversal deje de cortar dos o tres capas de carbón.

Los pozos en Barruelo llegan a los 300 m., pero actualmente las explotaciones se detienen por encima del nivel 250 m. Hasta la mayor profundidad alcanzada conservan las capas su inclinación, de modo que ni en Orbó ni en Barruelo se advierte modificación en el buzamiento, pero es posible que a cierta profundidad se inicie un sinclinal que aproxime a la superficie las capas de carbón por debajo del triásico de la parte NE. de las concesiones y sería interesante un reconocimiento del carbonífero por sondeos en la cuenquecita del río que baja a Cuenca; así, pudiera llegarse a demostrar la continuación del carbonífero por el límite oriental de las concesiones mineras y la existencia de una nueva y extensa zona explotable.

Sumando los espesores se advierte que desde la capa más inferior del grupo inferior hasta la superior del superior, hay más de 1.000 m. de carbonífero productivo conocido.

Adviértase que dentro de la cuenca del Rubagón hay varios asomos hipogénicos pequeñísimos.

En resumen: así en Asturias como en León y Palencia, tiene el carbonífero la misma composición: en la base el nivel de la caliza de montaña con sus variantes de caliza amigdaloides que alterna con pizarras, y la facies del Culm. El hullero inferior y el medio presentan enorme espesor y contienen muchas capas explotables; escaso desarrollo del superior, comparativamente, y el conjunto muy trastornado, cobijado a veces por los terrenos más antiguos y oculto bajo el triás. Es lógico buscar bajo este último el rico nivel del hullero medio.

RECONOCIMIENTO DEL TERRENO

DELIMITACION DE LA ZONA.—Acabamos de exponer las circunstancias que se observan en el carbonífero descubierto de San Cebrián, Barruelo y Orbó, y ahora vamos a describir el manto de terrenos más modernos que lo cubre.

Podemos llamar zona interesante la que sin ser carbonífera, tenga encima de esta formación un espesor de terrenos más modernos que haga posible la exploración y además la explotación del carbonífero subyacente. Para fijar esta zona procedimos por exclusión fijando los límites de otra que llamaremos marginal y es aquella en que cesan esas condiciones necesarias.

El simple examen del mapa geológico, dice que esa zona marginal debe buscarse en los bordes de la mancha carbonífera, que limitan al S., SE., E. y NE. los terrenos secundarios, por lo que, para su estudio seguimos el itinerario de Cervera del Río Pisuegra a Mataporquera, de Mataporquera a Reinosa y de Reinosa al Puerto de Sejos.

DE CERVERA DEL RIO PISUERGA A MATAPORQUERA.—Al E. de Cervera del Río Pisuega (1.000 m. de altitud), existe una serreta que se alza junto al puente que allí cruza el río, formada por una enorme masa de pórfido cuarcífero, durísimo, blanco-amarillento; unidas al pórfido asoman grandes inyecciones de argilofiros sobre los que se apoya la primera roca.

Este asomo hipogénico se halla bajo bancos de calizas arcillosas, grises o rojizas, con tallos de crinoides que buzan unos 45° al N. y se arrumban al ENE.; corresponden a una faja devoniana de 200 m. de anchura y escasa longitud, muy bien señalada en el mapa al NE. de Cervera y encima de la cual se apoyan psamitas y conglomerados del carbonífero.

La existencia del asomo hipogénico y la mancha devoniana tiene mucha importancia para nuestro estudio, pues el primero es señal manifiesta de una solución de continuidad y la segunda indica el límite inferior de la formación carbonífera.

Las psamitas de grano grueso y los grandes bancos de conglomerado cuarzoso con cemento silíceo, superpuestos a la faja devoniana, soportan pizarrillas carboníferas que pertenecen a la gran mancha de esta formación que se extiende por el norte del pueblo.

Sobre la faja devoniana que al E. de Cervera se apoya en el asomo hipogénico, descansa a su vez una pudinga carbonífera de la base de esta formación, en bancos muy gruesos que buzan al N. y que alternan con algunos de pizarras. Integran la pudinga elementos de caliza fosilífera negra, tal vez siluriana, y pedazos de pórfido y pizarra; también hay algunos bancos de elementos menudos y de variados colores.

Pasado el citado asomo porfídico, desde Cervera a Ligüerzana se extiende el cretáceo, en el que alternan bancos de

calizas y lechos margosos, con predominio de los primeros, que son muy regulares. Sus grandes frentes destacan desde muy lejos sin accidente estratigráfico que los interrumpa; casi horizontales a la salida de Cervera buzan después más, y junto a Ligüerzana se inclinan hasta 45°.

El buzamiento general del cretáceo es oriental, con ligeras variantes entre el SE. y el ENE.; siempre se presenta con regularidad y puede apreciarse el enorme espesor de sus depósitos que no bajan de 1.000 m. Por lo tanto, este trayecto de Cervera a Ligüerzana podemos ya considerarlo extramarginal.

De Ligüerzana a Gamedo se sigue el límite entre el cretáceo y el carbonífero. El primero, cortado por una falla, deja al O. del camino los conglomerados y calizas cretáceas que buzan 45° al SE., es decir, hacia el carbonífero. En el contacto de ambos sistemas los estratos se encuentran casi a escuadra: los carboníferos de E. a O. y los cretáceos de N. a S.

Desde 1 km. al N. de Ligüerzana queda el carbonífero al E. del camino; en él predominan las psamitas y cuarcitas en lechitos delgados con los que se intercalan algunos bancos de pudingas de elementos menudos.

Algo al S. de Gamedo se alzan entre las pizarrillas del sistema grandes crestones que forman los afloramientos de potentes bancos de areniscas blanquecinas con manchas rojizas, generalmente muy duras y compactas y tránsito de las areniscas blandas del sistema a las cuarcitas. Los bancos, casi verticales, se prolongan por las laderas de la sierra hacia levante, y son notable nivel estratigráfico de referencia. El carbonífero avanza hasta cerca del aluvial del Pisuega; se compone de psamitas, areniscas y pudingas, pero a poca distancia, al E. de Gamedo hay que señalar un gran asomo de

caliza carbonífera gris que forma un mogote rodeado por las demás rocas citadas.

A un kilómetro y medio al SE. del pueblo y no lejos de este mogote, hay una capita carbonosa en unas pizarrillas comprendidas entre dos bancos de pudingas. En ella se ven varias laborcillas de escasa importancia y al parecer de resultado nulo. De vez en vez hallamos una pequeña calicata con su escombrera delante; en general se aprecia que todo este carbonífero es improductivo.

Cerca de Valdespinoso, aldehuela situada entre Gamedo y Mudá, aparecen las pizarras arcillosas del carbonífero que con gran monotonía y escasa variación en sus caracteres se extienden por los vallejos comprendidos entre este caserío y Mudá. Alternan en tan extensa zona unos lechos margosos, duros y silíceos, con otros arcillosos y blandos, composición que motiva el aspecto fajeado de los cortes que el agua ha producido en el suelo. En el arroyo de Valdespinoso y cerca de esta aldea, los estratos del carbonífero se presentan casi verticales y arrumbados de N. a S., pero poco más a saliente recobran su posición normal en la localidad, o sea, arrumbados de E. a O. y buzando al N. en término medio 45°. Las capas tienen muchos trastornos locales, cambios de dirección y buzamiento, pero no observamos grandes accidentes estratigráficos.

Con análogos caracteres se extiende el carbonífero hasta 1 km. al S. de Mudá, y queda cubierto por el triás a los 1.000 m. de altitud. En el valle comprendido entre Mudá y San Cebrián está el conocido coto minero de este nombre, al que une un ferrocarril con la línea de la Robla a Valmaseda.

En suma, el trayecto de Ligüerzana a Mudá, puede calificarse de intramarginal.

Al sur de Mudá se alzan grandes moles de calizas blancas y

grises en la fractura fresca, que corresponde al nivel de la caliza carbonífera que alcanza muy poco desarrollo en la región.

De Mudá a Salinas se cortan las pudingas y margas oscuras del carbonífero, luego pizarrillas arcillosas muy levantadas que buzando al N. y después van arqueándose hasta buzando al E.

A un kilómetro al S. de Mudá se presenta el triás (1.030 m.); apoyado en discordancia en el carbonífero; sus bancos se dirigen del E. a O. y buzando con gran uniformidad unos 45° al S.

Forman la base del secundario bancos de conglomerado cuarzoso con cemento también silíceo y coloreados de rojo; con ellos alternan otros de arenisca roja de grandes elementos cuarzosos y muy poca mica. Según se asciende estratigráficamente van disminuyendo los conglomerados hasta desaparecer por completo y los substituyen las areniscas que forman capas de gran espesor tornándose más micáceas, blandas y deleznales.

Al norte de la vía férrea de San Cebrián (en aquel punto casi paralela a la de la Robla a Valmaseda), se presentan acantilados de arenisca cuarzosa blanquecina, último nivel de la arenisca roja triásica, pues en la vía afloran ya las margas superiores del mismo sistema que se ven en los desmontes con sus colores peculiares, rojos y verdes, ocultas en grandes trechos por la tierra de labor.

En general, desde Cervera a Salinas, el carbonífero buza al N. y el secundario al S.

En todos nuestros itinerarios procuramos medir los espesores de los distintos tramos del triás, pero en ningún punto pudimos medir con más facilidad el tramo inferior que en el corte de Mudá a Salinas (lám. III, fig. 1ª.), donde las pudingas y areniscas suman unos 350 m. de espesor; las margas irisadas no

se presentan con toda su potencia, por lo que nos limitamos a comprobar que la parte no derrubida alcanza unos 120 m.; el total del horizonte debe ser mucho mayor.

Entre las vías férreas de San Cebrián y la Robla limitan el triásico las calizas jurásicas que se desarrollan en unas lomas situadas al norte del valle aluvial de Salinas. Los bancos de calizas arcillosas grises y amarillentas del jurásico se inclinan hacia el sur lo mismo que las margas irisadas infrayacentes, pero su buzamiento es mucho menor.

Así, pues, la línea que une Ligüerzana con Salinas es sin duda extramarginal (nótese que sólo la separa un kilómetro o dos, a lo sumo, de la intramarginal).

Salinas (970 m.) está situado en un llano de aluviones antiguos del Pisuerga, y al S. se extienden unos cerros formados por grandes bancos de caliza que buzanan de 12 a 20° al SO. y corresponden a un horizonte jurásico más alto que el que se desarrolla al N. de Salinas. La mayor parte de las calizas son arcillosas, otras puras, muy recias y compactas, grises o azuladas y algunas rojizas. En ellas escasean mucho los fósiles, y únicamente encontramos algunas secciones espatizadas de Terebrátulas y pequeños gasterópodos inclasificables.

En los arribes del río gran parte de la formación jurásica queda oculta por mantos de tierras pedregosas, aluviones antiguos a gran altura sobre el actual nivel del Pisuerga.

En este recorrido por el S. de Salinas pudimos ya comprobar que gran parte de la mancha señalada como triásica en el mapa geológico es en realidad jurásica (1).

En el jurásico que se extiende con muy parecidos caracte-

(1) Rectificada en el mapa la mancha triásica del sur de Salinas, se advierte que los distintos pisos del secundario forman tres fajas sucesivas de N. a S.: la septentrional triásica, la media

res por las dilatadas mesetas comprendidas entre el Pisuerga y el pobladillo llamado Barrio de Santa María, los bancos buzanan constantemente al SO. con poca inclinación, pero ya cerca del Barrio mencionado se levantan más; tiene la formación mucho espesor, pues sólo el horizonte calizo que se cruza entre Salinas

jurásica y la meridional infracretácea; disposición que se acomoda muy bien a la general de la región. Por esta causa nos extrañó la reaparición de la formación triásica mucho más al S., junto a Olleros, donde el mapa señala una mancha triásica de forma horquillada y de unos 10 kilómetros de longitud que rodea por el NO. y S. a una fajita jurásica.

En realidad se trata del infracretáceo formado por pudingas de elementos menudos y por areniscas, algunas muy rojas, y que sin duda motivaron el error.

El valle de Olleros es muy pintoresco y se halla excavado en la formación cretácea e infracretácea. El Pisuerga penetra en él por el N. donde sigue unas profundas hoces cercanas al pueblo y lo abandona salvando una barrera de capas jurásicas casi verticales que se arrumban de NO. a SE. y que soportan a las mencionadas areniscas y pudingas infracretáceas en manifiesta discordancia con las primeras, pues si su dirección es casi la misma, en cambio buzanan de 20 a 30° al NE.

Todo el valle de Olleros parece producido por la ruptura y denudación de amplia bóveda formada por el cretáceo e infracretáceo y cuyo núcleo constituía el jurásico. La circunstancia de estar esta última formación tan discordante con las anteriores explica el que, durante algún período de movimiento, las capas jurásicas adquiriesen su actual verticalidad rompiendo la bóveda por la que luego se hicieron paso las aguas que arrastraron los materiales caídos y formaron el lecho del Pisuerga.

Cercan el río los estribos de la bóveda; los más próximos e inferiores, formados por las areniscas y pudingas infracretáceas; los más altos y exteriores por las capas cretáceas. La bóveda no era circular, sino muy alargada de NO. a SE., que es la dirección general de los plegamientos.

Nos hemos detenido en el examen de esta región no solamente por rectificar el mapa, sino en la esperanza de que esa mancha señalada como triásica lo fuese efectivamente y que se hubiese hallado este terreno horizontal, porque en tal caso podía haberse efectuado un sondeo en este punto.

y el Barrio de Santa María alcanza más de 500 m. y sus rocas presentan muchas variedades tanto en composición como en color; abundan las calizas arcillosas compactas, grises-blanquecinas y otras oscuras, pardas o negruzcas, ligníferas con multitud de tallos carbonosos. Entre las calizas hay algunos bancos de areniscas deleznablemuy micáferas, amarillas y rojizas. En el borde del vallecito del Barrio de Santa María hay un nivel de margas amarillentas y verdosas con algunos bancos intercalados de calizas muy arcillosas. Esta facies que tanto se parece a las margas del Keuper, con sus calizas tableadas, se repiten en aquella región en el jurásico y en el cretáceo y ha motivado confusiones entre estos terrenos y aquél piso del triásico.

El jurásico termina en la vega del Barrio de Santa María.

Al S. de este poblado y junto a sus últimas casas se presenta el infracretáceo, constituido por enormes bancos poligénicos de conglomerados de elementos y cemento calizo; algunos bancos tienen más de 10 m. de potencia y buzan 30° al NE. en manifiesta discordancia con el jurásico, en contra de lo observado hasta allí en todo el secundario, lo que hace pensar que por aquel punto pasa una falla con dirección NO.-SE., limitando los sedimentos cretáceos y separándolos de los jurásicos.

No atravesamos esta faja infracretácea, pues ello nos hubiera apartado mucho del objeto de nuestra expedición y por lo tanto no pudimos medir su espesor, pero por lo que vimos en su borde apreciamos que no baja de 200 m.

Aunque el recorrido de Liguñerzana a Salinas queda, como antes dijimos, fuera de la zona marginal, seguimos el corte descrito hasta el Barrio de Santa María, aun a costa de desviarnos tanto hacia el S., con el solo objeto de reconocer la serie estratigráfica de la localidad.

Al E. de Salinas cruza la carretera que conduce a San Mamé los aluviones del Pisuerga convertidos en fértiles tierras de labor, y luego reaparecen los bancos de calizas jurásicas blanquecinas, casi siempre muy puras y otras veces algo arcillosas. Son prolongación oriental de los que cruzamos en nuestro corte hasta el Barrio de Santa María y su arrumbamiento el mismo, pero no así su buzamiento que aquí llega a 45°, bastante mayor que el de aquéllos.

Entre San Mamé y Renedo se extienden bancos de margas rojas y verdosas que alternan con otros de areniscas de grano grueso. Renedo está edificado en un horizonte sabuloso del jurásico formado por grandes bancos de areniscas y arenas sueltas amarillentas.

En esta zona debe considerarse extramarginal todo tramo superior a las areniscas rojas del triás y por esta razón, luego que nos cercioramos de que era jurásica la zona comprendida entre Salinas y Renedo, juzgamos inútil avanzar más hacia el S. y nos dirigimos al NE., hacia Matamorisca.

Entre Renedo y Matamorisca se extienden los bancos jurásicos de areniscas amarillentas y margas arcillosas claras, clasificadas hasta ahora como triásicas, sin duda porque en algunos escarpes de las márgenes de los arroyos presentan las rocas coloraciones de rojo-ladrillo a anaranjado, según están más o menos teñidas por óxido de hierro, y a primera vista puede causar confusión, pues se asemejan, por el color y composición a las areniscas triásicas; sin embargo, aparte de las indiscutibles razones estratigráficas, el examen detenido de los bancos muestra que las rocas son distintas de las del triás.

También desde Renedo se atraviesa una formación de margas abigarradas y areniscas rojo-oscuras, micáceas que igualmente se asemejan mucho a las del triás, pero como

observamos que se apoyan en las calizas grises jurásicas, deducimos que tal vez, sin reparar en su situación estratigráfica y engañado por su semejanza, creyó Puig y Larráz triásico al infracretáceo, y por tanto, consideró las calizas jurásicas como girones superpuestos, cuando en realidad son asomos del nivel jurásico que se apoya en el triás y sobre el cual reposa el infracretáceo.

Además de ese nivel de margas irisadas y areniscas, hallamos otro infracretáceo, formado por areniscas blandas y de color claro, que creemos que corresponde al que vimos junto al N. del Barrio de Santa María. En cambio no hemos visto el nivel de potentes bancos de conglomerados que hay al S. de dicho barrio y que asoma mucho más al mediodía en las hoces que cruzan la línea férrea del Norte entre Villela y Aguilar de Campóo; sin duda ha habido un salto entre el Barrio de Santa María y el paraje de que ahora tratamos a lo largo del riachuelo que por allí pasa y en cuyas dos orillas no se corresponden las capas. Los bancos se arrumban de SE. a NO., y lo mismo que en el triásico, se advierte que las capas se van doblando siempre con buzamiento periférico, según un arco, con su centro próximamente en Barruelo.

Con el fin de cerciorarnos de la uniformidad de la serie estratigráfica y en vista de los errores que observamos en el mapa, avanzamos de nuevo por el jurásico desde Matamorisca a Nestar y advertimos que al N. del camino que une ambos pueblos se extienden las calizas grises jurásicas, y al S., a poca distancia, las areniscas del infracretáceo. Las primeras forman un suelo pedregoso muy áspero y pobre, desprovisto de vegetación, mientras que las rocas del segundo son más deleznable y han producido tierras sabulosas, que admiten buen cultivo. El buzamiento de las capas jurásicas según se avanza hacia

saliente varía del S. al SO. y a unos dos kilómetros al O. de Nestar se levantan algo más las calizas y asoman debajo las margas del mismo sistema que buzán 45° al SO., pero entre Villavega y la línea férrea de Quintanilla a Barruelo las calizas jurásicas cubren el nivel margoso que sólo asoma más al N. en las márgenes de algunos barrancos.

Cerca del cruce del ferrocarril de la Robla a Valmaseda con el de Quintanilla a Barruelo, aparecen debajo del jurásico las margas irisadas triásicas y ya no se encuentra la formación más moderna hasta cerca de Mataporquera. Toda la serie de lomas que marcan por aquella parte el límite de las provincias de Palencia y Santander se componen de bancos triásicos, en particular areniscas y conglomerados; las margas sólo asoman en los bordes meridional y oriental de tan extensa mancha (o sea, cerca del jurásico).

Al N. del citado cruce de vías férreas el camino de Orbó deja al E. unos cerros donde asoman los conglomerados y areniscas micáferas del triás en crestones alineados de NO. a SE. e inclinan unos 30° al SO. A media ladera se establece el contacto del triás con el carbonífero; las areniscas y conglomerados coronan los montes situados en forma de circo al E, S. y SO. y las pizarras y pudingas rellenan el fondo del valle.

A unos 500 m. al S. de Orbó se presentan las pizarrillas carboníferas arrumbadas de N. a S. y con buzamiento de 80° al O., es decir, casi completamente verticales; son muy arcillosas, pardas o grises, estratificadas en lechos delgados y a veces son hojosas.

Resulta pues, que desde Sordovilla a Mataporquera se sigue exactamente la zona marginal.

Como resumen de lo observado desde el valle de San Cebrián hasta la faja infracretácea, podemos afirmar que:

Los conglomerados y la arenisca roja triásica se extienden entre la vía férrea de San Cebrián y el carbonífero de la zona de Mudá y de Orbó en una ancha faja orientada del E. a O. hasta Mataporquera y con espesor mínimo de 350 m. (lám. II).

Al S. de la vía férrea de las minas de San Cebrián se desarrolla con igual dirección una estrecha faja de las margas irisadas del Keuper, que a nuestro juicio determina el borde interno de la faja marginal.

Más al S. se extiende una faja jurásica de cuatro kilómetros de anchura media que se desarrolla por Matamorisca y Nestar hasta Mataporquera (en cuya estación hemos recogido calizas con belemnites).

Al sur de la línea Barrio de Santa María-Renedo-Nestar, se desarrolla con enorme potencia el infracretáceo.

ZONA DE REINOSA A BARRUELO.—Si en esta primera parte del perímetro que acabamos de describir nos bastó, recorrerlo casi en línea recta con ligeras desviaciones al norte y al sur, la parte que se extiende entre Mataporquera y Reinosa exige otra forma de reconocimiento, pues lo mismo la topografía del terreno que la distribución de la serie estratigráfica impiden apreciar ésta con la sencillez y amplitud que se ofrece a lo largo de la línea de La Robla a Valmaseda, donde casi se la puede examinar como en un mapa geológico.

Esta parte oriental de la zona marginal tiene más de 10 kms. de anchura entre el carbonífero y el jurásico. Todos los terrenos describen una amplia curva cuyo centro está en el carbonífero; sus diversos pisos rellenan valles y coronan divisorias sucesivas, de manera que para formar idea aproximada de su composición y espesor es necesario examinarlos por medio de cortes en diversas direcciones.

Siguiendo este plan, decidimos trazar primero un corte (lám. III, fig. 2), desde el valle de Reinosa a la cuenca carbonífera del Rubagón, con el que abarcábamos toda la serie estratigráfica desde el jurásico al carbonífero.

Desde Reinosa (850 m.) a Izara se cortan: primero, cerca de la estación, las dolomías triásicas interestratificadas con bancos de margas irisadas; en seguida se hallan unos cerritos formados por calizas y dolomías negruzcas y amarillentas muy cavernosas, jurásicas, que revelan en su aspecto la intensa acción metamórfica que han ejercido sobre ellas los asomos de ofita que tanto abundan en aquel valle. Los bancos jurásicos se arrumban de N. a S., e inclinan unos 45° al este; su espesor no baja de 100 m. y no se advierte su relación estratigráfica con los triásicos más orientales porque extensos prados ocultan su contacto.

Desde Izara hasta Suano componen el suelo las margas irisadas triásicas que, con buzamiento oriental, se alinean a lo largo del valle, o sea, de N. a S.

En el camino de Suano al Portillo de Somahoz se cortan en el cerro que se extiende desde Suano a la Población de Suso las calizas jurásicas; las margas irisadas triásicas, se ven más abajo, en el collado que separa dicho cerro de la falda oriental del Portillo.

En la larga y áspera subida de Suano al Portillo de Somahoz, se cruzan primero (casi en el fondo del valle), las margas irisadas alineadas de N. NO. a S. SE., con buzamiento de 20° al E. Conforme se asciende por la ladera, se desciende estratigráficamente y no baja de 100 m. el espesor de margas que se cruzan antes de llegar a las areniscas. Los estratos conservan con regularidad la dirección indicada y según se asciende la montaña se van tendiendo más. En la entrada de un antiguo

bosque de hayas y robles (1.000 m.) se descubren las areniscas rojas muy arcillosas, micáferas. Al final de la cuesta que da acceso al Portillo de Somahoz se advierte, según se desciende estratigráficamente, que las areniscas son cada vez más cuarzosas, duras y compactas y se presentan en gruesos bancos. Algunas son de grano muy basto y contienen multitud de guijos cuarzosos.

Medio kilómetro antes de llegar al centro del Portillo cesan las areniscas (1.150 m.) y aparecen los conglomerados que forman el nivel más bajo de la formación secundaria.

El Portillo de Somahoz (1.230 m.) es una amplia abertura producida por la fractura y denudación en el eje de un anticlinal triásico; a ambos lados del paso del collado se presentan los enormes bancos de conglomerados triásicos que forman dos grandes arcos muy tendidos, pues el anticlinal es muy poco agudo. El camino que cruza el Portillo sigue casi normalmente a la dirección de los bancos, que si en la subida desde el valle de Reinosilla buzan al E., en el kilómetro de terreno entrellano del paso del Portillo se presentan casi horizontales, y buzan suavemente al O. en la falda occidental de la sierra. La inclinación máxima de las ramas del anticlinal no pasa de 20° en todo el camino, a ambos lados del cual se alzan las cabezas de los bancos de conglomerados en grandes cortes, donde puede apreciarse que su espesor no baja de 60 m. A juzgar por la composición del triás de la comarca hay menos de 100 m. de bancos triásicos encima de la formación infrayacente, y como allí el secundario está completamente horizontal, bastaría con un sondeo de 100 m. para alcanzar a esa formación que casi seguramente será la carbonífera.

Hay muchas dificultades técnicas para efectuar este trabajo en aquel punto: las de transporte, escasez de agua y clima riguroso. Además, caso de éxito completamente favorable,

sería muy difícil emprender una explotación hullera en paraje tan aislado y de difícil acceso.

Entre el Portillo de Somahoz y Salcedillo se desarrollan por la ladera meridional de la sierra de Hajar, los bancos de conglomerados triásicos; como el camino tuerce hacia el N., se sigue casi exactamente la dirección de los bancos y se nota que éstos presentan al N. de Salcedillo casi igual inclinación que la falda de la sierra, lo cual permite que un banco potente de arenisca cubra a modo de escudo en gran trecho los conglomerados triásicos y cerca de Salcedillo los oculten por completo.

En el puertecito (1.340 m.) que separa Salcedillo del valle de Brañosa, reaparece la pudinga infrayacente y puede apreciarse el escaso espesor que en las cercanías de Salcedillo conserva el nivel sabuloso del triás. Encima de Brañosa (1.240 m.) quedan cortados los bancos de conglomerados triásicos y se aprecia fácilmente que en aquel punto su espesor no pasa de 100 m. Los conglomerados, así como las areniscas superpuestas, buzan unos 15° al NE. Dentro del pueblo de Brañosa y muy cerca del contacto del triás con el carbonífero, hay unos banquitos de arenisca triásica muy arcillosa bajo los bancos inferiores del conglomerado o intercalada con ellos.

En la parte septentrional del valle de Reinosilla, o sea, entre el Portillo y Salcedillo, se observa que sobre las pudingas que forman el subsuelo del valle y de las laderas que lo limitan, se destaca un nivel de areniscas que buzan al E. y al N., lo que indica que ese valle es como una oquedad o soplado entre la capa inferior de conglomerados inmediatamente superpuesta al carbonífero y el nivel de las areniscas triásicas (exfoliación horizontal).

Por lo expuesto debemos considerar todo el espacio desde Suano a Brañosa comprendido en la zona intramarginal.

Veamos los resultados probables de los sondeos en distintos lugares de esa zona. Ya hemos dicho que el punto donde había que atravesar menos espesor de terreno sería el Portillo de Somahoz y también hemos señalado sus dificultades técnicas.

Más factible sería un sondeo a un kilómetro o kilómetro y medio al E. del Portillo y menores, aunque aun muy grandes, las dificultades de transporte. El sondeo atravesaría todas las pudingas y unos 100 m. de areniscas triásicas, y como la inclinación de esta formación es de unos 15°, se alcanzaría el carbonífero hacia los 300 m.

Sería interesantísimo un sondeo entre Suano y la población de Suso, pues, de obtener éxito favorable, podría dar esperanzas de futuras explotaciones carboníferas en el valle de Reinosa. En dicho punto no se presentarían grandes dificultades de orden técnico o de instalación, pero en cambio el taladro tendría que atravesar todo el nivel de la arenisca triásica con 20° de inclinación, lo que quiere decir que probablemente no llegaría al carbonífero hasta los 400 m. de profundidad.

Mucho más favorables son las condiciones al O. del Portillo de Somahoz, en el valle del río Camesa, donde el triásico no inclina más que 15° ó 20° en muchos puntos y sólo habría que atravesar de 50 a 150 m. de areniscas rojas (según el paraje escogido) y los conglomerados infrayacentes, de forma que se cortaría el carbonífero entre los 200 y 300 m.

Nos parece muy ventajosa la zona limitada por los pueblos de Matadehoz, La Loma, Santa Olalla y Espinosa de Valdeolea; lugares situados próximamente a 1 km. de distancia unos de otros en la vertiente meridional de la sierra en que se abre el Portillo de Somahoz, y que es un contrafuerte oriental de la de Hajar.

El valle inferior del Camesa hacia Reinosilla nos parece

menos apropiado para nuestro objeto, pues en aquella parte están las capas trastornadas por asomos offíticos y donde no, el espesor del triás es mayor porque se presenta también el nivel margoso.

Con objeto de reconocer esa parte más trastornada del valle del Camesa, donde se relaciona esta región con la marginal de Mataporquera y con la cuenca carbonífera del Rubagón, hicimos otro corte transversal desde Orbó al valle de Reinosa.

Subiendo desde el valle de Orbó (1.050 m.) al puerto de Buenaventura (1.250 m.) situado en el camino de Valberzoso, se cruzan los afloramientos de las capas del grupo superior de Orbó.

En el collado quedan interrumpidos los bancos de conglomerados triásicos que afloran a ambos lados de la depresión que sigue el camino por una lengua de carbonífero que avanza hacia la ladera oriental de la sierra.

Pasado el collado de Buenaventura se llega a la falda oriental de los altos de Cueto y de Sestil de Terrena, donde se ven grandes moles aisladas de pudingas triásicas. Como en lo alto del puerto no vimos tal roca y estos grandes trozos sólo pueden proceder de un punto más alto que aquél en que se hallan, dedujimos que son restos de la bóveda triásica, hoy rota, que en otro tiempo cubría al carbonífero.

Este llega a la divisoria y después, según se desciende por la ladera opuesta, se asciende estratigráficamente por los bancos de conglomerado y luego de areniscas (1.160 m.), que sin accidentes estratigráficos buzan de 10 a 30° al NE., alineados de NO. a SE.

En Valberzoso (1.070 m.), ya en el valle, aun aflora el nivel de los conglomerados, y como la inclinación del triás es tan es-

casa, tal vez se alcanzase el carbonífero con un sondeo de 150 m. El único inconveniente es lo demasiado cercano que se halla ese punto al carbonífero descubierto, pues en línea recta hay unos 3 kms. a las explotaciones de Barruelo. Sería un sondeo práctico para una empresa que quisiera ampliar su campo de explotación, pero sin verdadero objeto para el Estado, que debe buscar el aumento de sus reservas de carbón, por medio de la comprobación de que continúa la cuenca conocida en extensa zona.

Entre Valberzoso y el amplio valle del Camesa se extienden unas lomas achatadas, que señalan el límite entre las provincias de Santander y Palencia; lo mismo en ellas que en la nava de Valberzoso, buza el triás unos 20° al NE.

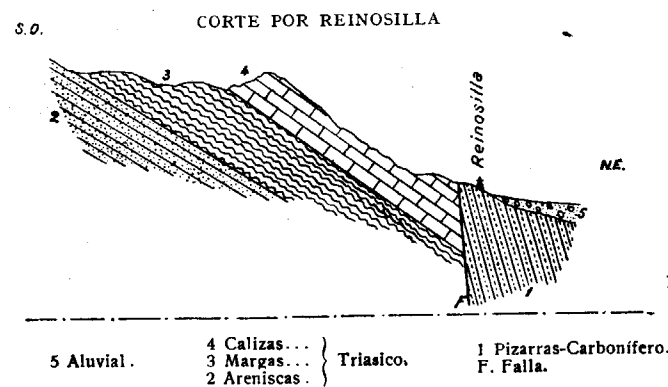
Al oeste de Reinosilla tiene el triás mucho espesor; además parece que por el N. del valle, hacia Salcedillo, se cierra el nivel de las areniscas y acaso también por el S., mientras que queda abierto por el centro, donde se hallará a poca profundidad el carbonífero cubierto sólo por las pudingas triásicas. Esto corrobora que el centro del valle es la región más apropiada para practicar sondeos.

En Espinosa de Valdeolea aun afloran muy tendidas las areniscas triásicas, pero quedan ocultas junto al pueblo, que es un anejo de Reinosilla, por los aluviones del Camesa.

Reinosilla (980 m.), es uno de los puntos de geología más intrincada de la región; las capas que tanta regularidad presentan en la zona septentrional del valle, están en aquel pueblo profundamente trastornadas. Allí se observan varios niveles triásicos; en unas canteritas situadas al NO. del pueblo se explotan los bancos de arenisca roja micáfera del sistema, y más abajo, cerca de la carretera, hay una faja de margas verdes y rojas del nivel de las irisadas. En la misma entrada

del pueblo hay otra cantera abierta en unos bancos de calizas negras y pardas magnesianas, cavernosas, también triásicas, que contienen pequeños lamelibranquios; esta zona caliza se prolonga al S E. de Reinosilla en unas lomas al O. de la carretera de Casasola; sus bancos, alineados de SE. a NO., buzan 30° al N E. y se ocultan bajo los aluviones arcillosos de la vega de Reinosilla.

Dentro de este pueblo, en sus casas más occidentales, hay un afloramiento de pizarras carboníferas cuya existencia junto



a niveles tan altos del triás sólo puede explicarse satisfactoriamente por medio de una falla.

Las capas carboníferas afloran en pequeñísima extensión y están rotas y desgajadas en todos sentidos; sus pizarrillas hojosas pardas o rojizas y algunas carbonosas, buzan 70° al E. y se alinean de N. a S., aunque con múltiples inflexiones.

Cerca de Casasola, ayuntamiento situado a un par de kilómetros escasos de Reinosilla, hay otro afloramiento de terreno carbonífero donde se ha encontrado algo de carbón.

Junto a Casasola, en las márgenes del río, asoman las ofitas entre margas irisadas; más al NE., entre el río y el puerto

del Bardal, que separa del valle del Camesa el del Izarilla, dando vista a Reinosa, hay asomos hipogénicos, algunos de varios centenares de metros de diámetro y todos relacionados con las margas irisadas del triás.

Cerca de Hoyos, en la carretera de Matamorisca a Olea, a 5 kms. del primer pueblo y 1.070 m. de altitud, hallamos la arenisca roja.

Las areniscas triásicas no afloran hasta el puerto del Bardal donde buzan al O., lo que denota que allí forman la rama oriental del sinclinal triásico del valle del Camesa.

En la vertiente oriental y a pocos metros del Puerto del Bardal en unas canteras y desmontes de la carretera, asoman los bancos de caliza arcillosa blanquecina del jurásico con buzamiento de 30° al E. en completa discordancia con el triásico que acabamos de citar. En esas calizas se encuentran belemnites y terebrátulas. Entre Orbó y Valberzoso comprobamos el espesor del triás ya observado entre Salcedillo y Brañosera y su situación respecto al carbonífero. Ratificamos en Valberzoso nuestra buena impresión acerca de la probabilidad de hallar el carbonífero bajo el triás, pero ya en las cercanías de Reinosilla advertimos lo poco propicia que es la parte baja del valle del Camesa para practicar sondeos, a causa de los múltiples accidentes estratigráficos que allí se presentan.

Desde el puerto del Bardal al valle de Reinosa confirmamos las observaciones estratigráficas hechas entre Suano y Salcedillo.

ZONA DEL VALLE DE CAMPÓO.—Para terminar nuestro recorrido de la zona marginal necesitábamos aún reconocer el trozo comprendido entre el valle de Reinosa y el puerto de Sejos, zona que sólo podía estudiarse debidamente por medio de un corte transversal del valle de Campóo (lám. III, corte n. 3).

De Reinosa a Fontibre se cruzan las margas irisadas triásicas y algunos niveles de dolomías, cubiertas unas y otras de vegas y prados, por lo que sólo se descubre la roca infrayacente en algunas canteras o minas de magnesita.

En Fontibre asoman bastante levantados los bancos de caliza jurásica y queda el triásico infrayacente al O.; siguen con escasas variaciones las capas jurásicas que hasta Espinilla de Suso, en las sierras situadas al E. y al N. del valle tienen enorme espesor, de modo que toda esta zona puede considerarse extramarginal.

Desde Espinilla hacia el O. se cruzan las margas irisadas del triás, muy tendidas en general, pues apenas buzan 10° al N.; allí describen las capas una curva y en el Puerto de Sejos el buzamiento es distinto.

Entre Villar y el puerto de las Cuevas, situado en la parte más occidental de la sierra de Isar y cerca del pico de Cueto Cordel, se extienden con gran uniformidad las areniscas rojas que se alcanzan a los 1.270 m. En un gran robleal a 1.070 m. de altitud, situado cerca del pueblo citado, están muy tendidas y se van levantando hasta buzar 45° al SE., conforme se asciende por la empinada ladera.

Al E. del Puerto de las Cuevas los bancos buzan unos 60° al SE., pero según se avanza hacia el N. se arquean en una gran bóveda y llegan a buzar al SO, siempre con la misma inclinación. Entre el Puerto de las Cuevas y el de Sejos forman la cumbre de la sierra los conglomerados de la base del triás (1.400 m.), que se yerguen en enormes murallones y grandes acantilados.

En la vertiente meridional del Puerto de Sejos y a unos 3 kms. de la Hoz de Abiada, aflora el carbonífero cuyos bancos quedan cubiertos por el triásico en violenta discordancia; dicho

afloramiento se halla a 1.500 m. de altitud, o sea, 700 sobre Reinosilla. Hay capas de arenisca dura y pizarras arcillosas pardas que encierran una capita de carbón sobre la cual, en un trayecto de unos 500 m., se han hecho varias catas, socavones en la ladera de la montaña y algún pocillo en el fondo del vallejo.

No pueden examinarse los frentes de esas labores por estar las galerías hundidas en parte y los pozos llenos de agua, pero en las escombreras se encuentran trozos de carbón.

Las pizarras carboníferas orientadas de NO. a SE., buzan 70° al SO., circunstancia interesante, pues demuestra que, conservando la misma dirección que los plegamientos de la zona de Barruelo-Orbó, la inclinación de las capas es contraria de la de aquel valle y nos da la esperanza de que en el carbonífero recubierto haya alguna zona más horizontal y menos plegada, o al menos una sucesión de anticlinales y sinclinales en la que no sería difícil efectuar un sondeo con resultado favorable.

El carbonífero rellena el fondo del barranco que, procedente del puerto de Sejos, desemboca en el valle del Campo de Suso; allí forma el paleozóico un entrante muy agudo en el triásico, pues lo ciñen por tres rumbos los bancos de conglomerados del último sistema.

Entre ese golfo carbonífero y la Abiada se corta casi normalmente la formación triásica. Sobre el carbonífero hay unos 120 m. de conglomerado, y encima, por toda la falda de la montaña, se desarrollan las areniscas rojas, que llegan a la misma Abiada, donde asoman las margas irisadas que rellenan todo el fondo del valle hasta Entrambasaguas y La Lomba, situadas en su ladera meridional.

Debajo de la iglesia de La Lomba (1.090 m.) asoman los bancos más altos del tramo de las areniscas en su contacto con

las margas irisadas, que buzan 30° al NE., lo que indica que en el valle de Entrambasaguas hay un sinclinal triásico mucho más agudo que el del valle de Reinosilla, tanto porque sus ramas están más inclinadas, la oriental sobre todo, cuanto porque el valle que describimos ahora es mucho menos amplio.

Desde el punto en que descuellan los grandes bancos levantados de la pudinga triásica, cerca del puerto de Sejos y por encima de la Abiada, se domina todo el valle de Campóo y se advierte que aquellos bancos pertenecen a la rama oriental de un sinclinal triásico, cuya rama opuesta es la que tocamos en el Portillo de Somahoz, donde las capas están más tendidas, pues el sinclinal es muy disimétrico, de modo que su rama occidental comienza casi en La Lomba, en el borde occidental del valle de Campóo y, por tanto, relativamente muy cerca de la Abiada, y que desde allí continúa dicha rama hasta el Portillo, si bien con una serie de inflexiones.

Junto al puente de la carretera de La Lomba, sobre el arroyo de Abiada (origen del río Hajar), aparece la arenisca roja con los bancos casi horizontales, sin trastorno geológico alguno, y un examen atento muestra que en el punto citado ha destruído la denudación más de 100 m. de arenisca, es decir, que un sondeo sólo necesitaría atravesar 250 m. de triásico horizontal, para llegar al carbonífero, por tanto, el puente de La Lomba es paraje muy a propósito para hacer un sondeo, pues, además, tiene agua abundante en todo tiempo, está próximo a varios pueblos, y no lejos de Reinosilla con la que lo une excelente carretera.

TECTONICA

Examinadas las condiciones del carbonífero de la región, su composición y orden estratigráfico; observadas luego

estas últimas circunstancias en el carbonífero inmediato al secundario y el número, orden y trastornos de sus capas, y revisados también los terrenos superpuestos, sólo queda examinar ligeramente los plegamientos que han afectado a aquella región para deducir, en lo posible, la situación del carbonífero oculto bajo el secundario.

Para ello recordemos lo que se sabe acerca de los plegamientos de la región cantábrica.

Cuando se produjo el gran movimiento herciniano en la época westfaliense, los empujes procedían de una región situada en la zona, hoy marítima, comprendida entre Bretaña y el S. de Inglaterra, y las olas corticales chocaron con los macizos de Galicia y de la Meseta; luego ocurrió el hundimiento del golfo de Vizcaya y los contornos septentrionales de la región cantábrica quedaron ya muy parecidos a los actuales.

El macizo primitivo continental de Galicia se ensanchó durante el paleozóico y sirvió de masa resistente a los plegamientos alpinos, de modo que la Cordillera Pirenaica no se extiende por Galicia, cuyos pliegues son precambrianos, caldonianos, hercinianos y van pasando a pirenaicos hacia el este y hacia el mar.

Se ha dicho que los Pirineos son un anticlinal transverso y ondulado cuya disimetría confirma la opinión de los maestros de la Geología moderna de que las grandes cordilleras son disimétricas por su modo de formación, teoría que Bertrand refuerza diciendo que en la vertiente exterior de las cordilleras se suceden largos pliegues acostados y en la interior asientos productores de fallas que dan paso a las rocas hipogénicas. No es tan sencilla la estructura de las montañas cantábricas; sus pliegues se tienden, en muchos sitios, al revés de lo que, según la regla anterior, corresponde al borde externo de una cordi-

llera (considerando borde externo de la Pirenaica el que mira a León); esa circunstancia induce a admitir la existencia de un plegamiento inverso. Adaro niega en absoluto que pueda ser cara externa la correspondiente a Asturias, porque así lo atestiguan, en primer lugar, los hundimientos de la cuenca carbonífera, propios de una zona interna.

Bertrand y Mengaud afirman que la Cordillera Cantábrica es prolongación tectónica de los Pirineos y se compone de hojas superpuestas. Adaro reconoce que la teoría de los arrastres ha explicado muchos fenómenos dudosos y cree muy posible que Macpherson aludiera a esa disposición cuando dijo que al sur de San Vicente de la Barquera existen tres segmentos separados por grandes fallas: el primero cretáceo, el segundo cretáceo y triásico en la base del Escudo de Cabuérniga (montaña formada por areniscas triásicas); el tercer segmento es la sierra de Hajar. Declara Adaro que ni Barrois, ni Bertrand, ni él añadieron nada nuevo a lo dicho por Macpherson, quien considera la Cordillera Cantábrica obra de la influencia que sobre el plegamiento herciniano ejercieron los terrenos arcaicos plegados de Galicia y, según esto, debió adquirir su actual relieve antes que las montañas pirenaicas y quedar *como soldada a ellas* por el comprimido fondo del geosinclinal del valle del Ebro.

Bertrand, apoyado en las doctrinas de Suess, recuerda que las cordilleras europeas forman arcos convexos hacia el N. y que a uno de ellos pertenecen los Pirineos y la Cordillera Cantábrica. Hernández Pacheco reforzando, según dice Adaro, las ideas de su maestro Macpherson, y en contra de Bertrand, considera los montes cantábricos independientes de los Pirineos, pues cree que en éstos los movimientos hercinianos ocurrieron en el permiano, y en la región astúrico-leonesa entre

el westfaliense y el estefaniense; y considera también que son independientes los plegamientos hercinianos de los Pirineos y de la Meseta; y advierte Adaro que, aparte la diferencia estratigráfica que haya entre ambas cordilleras y del problema de su relación subterránea bajo el geosinclinal del Ebro, lo esencial son las objeciones sobre el isocronismo de los movimientos orogénicos respectivos.

El complicado plegamiento que, según Barrois, perdura desde Galicia hasta el centro de la cuenca carbonífera asturiana, cambia de buzamiento en los bordes orientales de ésta, como si lo hubiera detenido un empuje contrario, o existiera exondada la masa resistente que más tarde constituiría los Picos de Europa, y por eso, en la zona oriental se pasa de las direcciones NO.-SE. a las E. O. francamente pirenaicas, y en Santander advertiremos cómo cerca de Reinosa las directrices han ido girando alrededor del macizo de los Picos.

Así, en la región que estudiamos podemos enlazar nuestras observaciones con las de los maestros que acabamos de citar.

Como síntesis de unas y otras, nos explicamos la disposición de los terrenos entre Santander y Palencia del siguiente modo: el secundario de la Cordillera Cantábrica se plegó contra los macizos antiguos que ya habían sufrido el plegamiento herciniano que orientó el carbonífero de NO.-SE. y por eso al adaptarse los materiales secundarios al núcleo primitivo preexistente se alinearon de poniente a levante en su parte meridional, pero al rodearlo por el E. adoptaron la dirección del plegamiento que aquél tenía y así se formó un remolino hasta quedar el secundario arrumbado de NO. - SE. como el carbonífero de Barruelo.

Dondequiera que ha desaparecido el secundario no se dis-

tinguen los pliegues hercinianos de los alpinos, pero sí entre Cervera y Reinosa, gracias a la existencia del triás sobre el carbonífero productivo. Allí los terrenos primarios se arrumban casi paralelos, pero como entre el carbonífero y el triás hay discordancia estratigráfica y los pliegues carboníferos son más continuos y agudos que los triásicos, se distinguen muy bien unos de otros.

Al N. de Potes y de Cabuérniga tampoco se diferencia el movimiento terciario; parece que el primario permaneció casi horizontal hasta que se produjeron los movimientos pirenaicos.

En un interesante estudio que presentó Termier en 1918 en la Academia de Ciencias de Francia afirma este ilustre geólogo que la formación de la cordillera herciniana de Asturias presentó un episodio anteestefaniense, o tal vez estefaniense inferior, caracterizado por cobijaduras, e indudablemente anterior a la formación de los haces de pliegues hercinianos que hoy vemos; ahora bien: ¿ha habido cobijaduras posteriores al plegamiento pirenaico, es decir, cobijaduras postnumulíticas? Termier opina que la parte de Cordillera Cantábrica comprendida en la provincia de Santander es un país de zonas de cobijadura, hipótesis que sostienen, Bertrand y Megaud, quienes tratan de demostrar la existencia de cobijaduras postnumulíticas entre Santander y Llanes, basándose en que hay residuos paleozóicos yacentes sobre el primario, el secundario o el numulítico; también en la circunstancia de que en Lebeña, en el valle del Deva el cretáceo asoma *en ventana* bajo el carbonífero del macizo de los Picos de Europa.

No es posible resolver en Asturias el problema de las cobijaduras, pues allí, según Adaro, todos los terrenos visibles se presentan unidos sin movimiento relativo apreciable, de modo

que «si es el asturiano país de zonas de cobijadura, todos los terrenos (excepto el hullero de Arnao) pertenecen a la misma zona».

Puede extenderse a toda Asturias lo que se observa en la prolongación de su serie sedimentaria por la provincia de Santander que corresponde a la zona intermedia de Macpherson, u hoja segunda de Bertrand y Mengaud y sería conclusión afirmativa acerca de la realidad de ese fenómeno caso de que existiese efectivamente la *ventana cretácea* de Lebeña. Conviene advertir que los mencionados geólogos no hallaron fósiles en dicho punto y fundaron la clasificación de aquellas margas en su identidad petrográfica con las aptenses del norte de los Pirineos, según asevera el Ingeniero de Minas Sr. Patac, en su notable estudio «La formación uraliense Asturiana», donde niega terminantemente la existencia de esa mancha cretácea y también la inmensa cobijadura que se funda, sobre todo, en dicho asomo.

La serie sedimentaria asturiana se prolonga también por León y Palencia; deben estudiarse en estas provincias las supuestas cobijaduras y, como la existencia de esa estructura afecta a la zona que hemos llamado marginal, nos detendremos algo más en su estudio.

En la faja cretácea que se extiende de La Robla hasta el E. de Cervera se nota que cerca de este último pueblo está evidentemente plegado el cretáceo bajo el paleozoico, y tal fué uno de los argumentos que adujo Termier para afirmar que todo el paleozóico avanza de N. a S. sobre el cretáceo de esa faja y las mesetas de Castilla, y basándose en la repetida ventana u ojal de Lebeña, consideró este asomo prolongación del cretáceo del Pisuerga bajo la cobijadura asturiana cuya amplitud sería de 40 kilómetros de N. a S. entre Potes y

Cervera, pero ya Sánchez Lozano advirtió que al SE. de Cervera el carbonífero buza por debajo del cretáceo (1).

Si se admitiese en principio esta cobijadura habría que dilucidar si se habría producido al desarraigarse un pliegue estirado, (lo que supondría completa repetición de la serie carbonífera sobre el cretáceo), o por la producción de una hoja de separación o exfoliación horizontal, y esto denotaría escaso plegamiento en el carbonífero por efecto del herciniano.

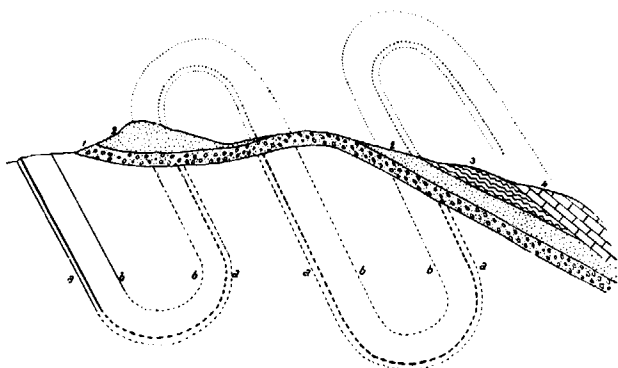
No creemos que en la zona oriental exista cobijadura, pues la serie de los terrenos secundarios cierra un arco que envuelve al carbonífero.

En suma, parece que desde que se depositó el carbonífero productivo se han sucedido los siguientes fenómenos: cobijaduras anteestefanienses o del estefaniense inferior, provocadas por violentos empujes en la región hoy marítima situada al N. de Asturias y relacionados sin duda con las grandes cobijaduras anteestefanuenses del Macizo Central de Francia; plegamiento herciniano estefaniense que afectó a toda la región y produjo pliegues arrumbados al NE. en la costa y al O. NO. en la zona montañosa; supuestas cobijaduras debidas a un empuje de N. a S. que determinó el avance de todo el país cantábrico sobre la región tabular de Castilla (si bien

(1) Afirma Sánchez Lozano en una nota contenida en el tomo XII del *Boletín del Instituto Geológico* y titulada «Sondeo en el extremo oriental de la cuenca carbonífera de Guardo», que la compañía de Villaverde de la Peña ejecutó cerca de la estación de Cervera del Río Pisuerga un sondeo con el que atravesó el cretáceo y alcanzó el hullero a los 263 m. de profundidad. Las capas cretáceas buzaban 30° o 35° al N. y asimismo el hullero, de modo que ambos terrenos parecían invertidos, pero algo más a Levante los estratos buzaban al S. y ya no se advierten señales de inversión.

nosotros creemos que la cobijadura sólo se presenta en los bordes, o sea, que hubo inversión local pero no arrastre); el plegamiento alpino que formó pliegues arrumbados al E. o al SE. en unas partes reducidos a amplias ondulaciones y en otros tan agudos que borran a los hercinianos cuando les son paralelos.

Consecuencia de todo lo dicho es que el carbonífero oculto en la zona que examinamos corresponde a la cara externa de



DISPOSICION PROBABLE DEL CARBONIFERO DEBAJO DEL TRIASICO

Fig. 2.—1. Conglomerados, (triásico). 2 Areniscas, (triásico). 3 Margas, (triásico). 4 Calizas, (Jurásico). a, Grupo de capas inferior de Barruelo y Orbó. b, Grupo de capas superior de Barruelo y Orbó.

la cordillera, sus estratos formarán pliegues acostados, probablemente isoclinales alineados al NO. y de menos amplitud que la de los triásicos, de casi igual dirección, que los cubren.

Por lo tanto, los ejes de los anticlinales y sinclinales paleozóicos y secundarios no se corresponderán y al colocar un sondeo en un sinclinal o anticlinal triásico no es posible precisar la estructura carbonífera que le corresponde y, en consecuencia, si se cortaría un nivel productivo.

SITUACION Y PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS

La fijación de los primeros sondeos depende de varias circunstancias: la existencia de carbonífero oculto en el

punto elegido; la extensión de la zona a la que se aplican las enseñanzas que se derivan del mismo; (es decir, que a igualdad de las demás condiciones debe preferirse un punto muy internado en el triás a otro situado cerca del borde), y la facilidad de ejecución. En la fijación del punto preciso de cada sondeo nos hemos atendido a esta tercera circunstancia; para la de la zona general a que pertenece cada uno de estos puntos hemos tenido en cuenta las dos primeras, más especialmente la segunda, pues la primera evidentemente es imprescindible.

Por supuesto, deben considerarse los sondeos que ahora se proponen, como una primera serie de cuyo resultado depende que se ejecuten otros.

SONDEO N.º 1.—Se emplazará en el valle de Reinosilla en un punto conveniente de la zona comprendida entre Mata de Hoz, Espinosa de Valdeolea, Santa Olalla y La Loma, o sea, en el valle medio del Camesa y algo apartado de los trastornos geológicos de Reinosilla.

El principal objeto de este sondeo es reconocer la continuación de las formaciones de la cuenca del Rubagón, porque si desde esta cuenca hasta el sondeo no hubiese trastorno inesperado se ampliaría notablemente la zona productiva de Barruelo y Orbó a Brañosera.

La profundidad necesaria para alcanzar el carbonífero sería de 300 m. Como además habría que continuar 300 metros en esa formación (o más, según los resultados), el minimum del taladro deberá ser de 600 metros.

Las comunicaciones son buenas, pues la carretera llamada de Matamorosa a Casasola pasa por Reinosilla y desde este punto hay varios caminos de carros, que atraviesan la zona citada.

El agua es abundante, pues, además del Camesa, hay varias fuentes y arroyos cercanos.

En cuanto a la época hábil para el trabajo creemos que puede contarse con la mayor parte del año, excluyendo la de los grandes temporales de nieve.

Por lo que hemos expuesto sobre la estructura del terreno en esta parte de la comarca, debe esperarse cortar con este sondeo un grupo de capas de Orbó en condiciones de fácil explotabilidad y que tendría buena salida bajando el valle hasta Mataporquera, importante lazo de comunicaciones ferroviarias.

SONDEO N.º 2.—Este sondeo, al que llamamos de Suano, resuelve distintos problemas y tropieza con otras dificultades que el sondeo n.º 1. Debe efectuarse entre Suano y la población de Suso, en el contacto de las margas irisadas con las areniscas rojas y por esta razón y la mayor inclinación que en ese punto tienen las capas, será más profundo que el sondeo n.º 1, pues habría de cruzar 250 metros de arenisca y 150 de pudingas, mas lo que se considere necesario ahondar en el carbonífero, o sea en total 700 metros. También su ejecución presentaría mayores dificultades, pues la carretera más próxima no llega hasta allí y la suple un largo y mediano camino de carro. También se cuenta con menos agua y las nieves impedirían probablemente el trabajo más a menudo.

En cambio, el hallazgo de carbonífero productivo en este punto tendría mayor transcendencia, pues tal vez convirtiese en zona explotable todo el valle alto del Camesa desde Suano a Brañosera, con zonas tan someras como la bóveda del Portillo de Somahoz.

Conviene desde luego consignar que, siempre que hablamos de éxito favorable en nuestros sondeos, nos referimos al

hallazgo del carbonífero productivo; en cuanto a las capas, dadas las distancias entre ellas y su inclinación, es fácil no cortar ninguna con un profundo sondeo, aunque existan en el subsuelo. Respecto de las ventajas que reportaría en ese punto un sondeo afortunado, baste decir que Suano está a la vista de la fábrica de la Constructora Naval en Reinosa, y con la ventaja respecto a Mataporquera de que, a diferencia de lo que ocurre en este último punto, Suano se halla en la vertiente cantábrica y no habría que subir desde allí los carbones hasta la divisoria, sino bajarlos a Reinosa o a Santander.

SONDEO N.º 3.—Este sondeo, que llamaremos de La Lomba, se encuentra ya en una región apartada, no sólo de las zonas en explotación, sino de las manchas de carbonífero productivo conocidas.

Las condiciones de los terrenos que tiene que atravesar son más favorables que las del sondeo de Suano y se asemejan a las que reuniría una perforación por encima de este último pueblo y cerca del Portillo de Somahoz, o bien entre Salcedillo y Brañosera; es decir, donde haya por encima del carbonífero las pudingas y parte de las areniscas rojas, ambas casi horizontales. Habría que atravesar 130 metros de areniscas, 120 m. de pudingas y 300 de carbonífero: en total más de 500 metros.

Como se habría de perforar junto al puente que cruza el arroyo de Abiada en la carretera de Espinilla a La Lomba, y ésta se une con la de Reinosa a Cabezón de la Sal, los transportes son sumamente fáciles. El río tiene agua sobrada, y en cuanto a épocas de trabajo, creemos que podría aprovecharse todo el año excepto el rigor del invierno.

Un éxito favorable obtenido en este sondeo abriría a la minería el valle de Campóo, situado mucho más alto que Reinosa, donde pudieran llevarse con facilidad sus carbones y sería

además puerta abierta para nuevas investigaciones del carbonífero que se extiende más al NO. por el Puerto de Sejos.

TRASCENDENCIA DE LAS INVESTIGACIONES. VENTAJAS INDUSTRIALES. TRANSPORTES.—Fuera del caso, como el ocurrido en Puertollano, de descubrirse una cuenca carbonífera por completo ignorada, nada más interesante que la ampliación de una ya conocida en condiciones de posible explotabilidad.

La parte explotable de la cuenca del Rubagón es una estrecha faja que bordea la gran mancha secundaria de los límites de Palencia y Santander.

Si las investigaciones que proponemos diesen resultado favorable, veamos la ampliación que recibiría la mencionada cuenca:

El sondeo del valle de Reinosilla la aumentaría con una faja de 6 kms. de anchura por otros tantos de longitud, o sea, una superficie de unos 40 kilómetros cuadrados.

Con el sondeo de Suano no podemos decir propiamente que se ensanchase la zona anterior, pero sí, quizás, que se descubriese otra faja de unos 12 kms. de longitud que hay de Suano a Brañosera y 2 de anchura por debajo del Portillo de Somahoz y Salcedillo, zona sobre cuya riqueza y composición sería ligereza aventurar nada.

Por medio del sondeo de La Lomba se conseguiría un objeto inverso que con el n.º 1, pues si en éste se descubría una formación carbonosa con entrada por la zona de explotación de Orbó y de Barruelo, el de La Lomba podría motivar investigaciones mineras que luego se prosiguiesen hacia el NO. del Puerto de Sejos donde también se extiende el carbonífero.

En suma, podría conseguirse que debajo de la mancha triásica que ocupa el límite de las provincias de Santander y Palencia, con una extensión de unos 400 kilómetros cuadrados,

se descubriesen en varios puntos capas de combustible que tendría fácil acceso e inmediata aplicación en la gran factoría siderúrgica de Reinosilla, puerto de Santander, industrias de la provincia (cada día más desarrolladas) y ferrocarriles generales o mineros que cruzan la región.

Complementaría este beneficio la abundancia de yacimientos de magnesita alrededor de Reinosilla, (substancia tan usada en siderurgia) y otras muchas minas (de cobre, especialmente), cuya explotación no es hoy productiva, pero tal vez pudiera serlo a la sombra de la de carbón.

CONCLUSIONES

1.ª En la zona comprendida entre Cervera del Río Pisuegra y Mataporquera no debe practicarse ningún sondeo, pues cualquiera que se intente sólo a un kilómetro del contacto de la arenisca roja con el carbonífero alcanzaría 1.000 m. de profundidad hasta esta última formación y no tendría aplicación minera.

2.ª En la faja triásica situada al N. de Mataporquera, entre el valle del Rubagón y el de Reinosilla, proponemos dos sondeos que pueden alcanzar el carbonífero, el de Mata de Hoz a 300 m. de profundidad y el de Suano a 400 m.

3.ª En la parte de la mancha triásica que ocupa el valle de Campóo, proponemos un sondeo junto al puente de la carretera de Espinilla a La Lomba, que debe alcanzar el carbonífero a los 250 metros.

4.ª Creemos que tales sondeos alcanzarían el carbonífero productivo, pero no puede asegurarse que cortaran ninguna capa de carbón.

5.ª Las observaciones realizadas en cada uno de estos sondeos aconsejarían la conveniencia de ejecutar otros y en caso afirmativo su situación y profundidad.

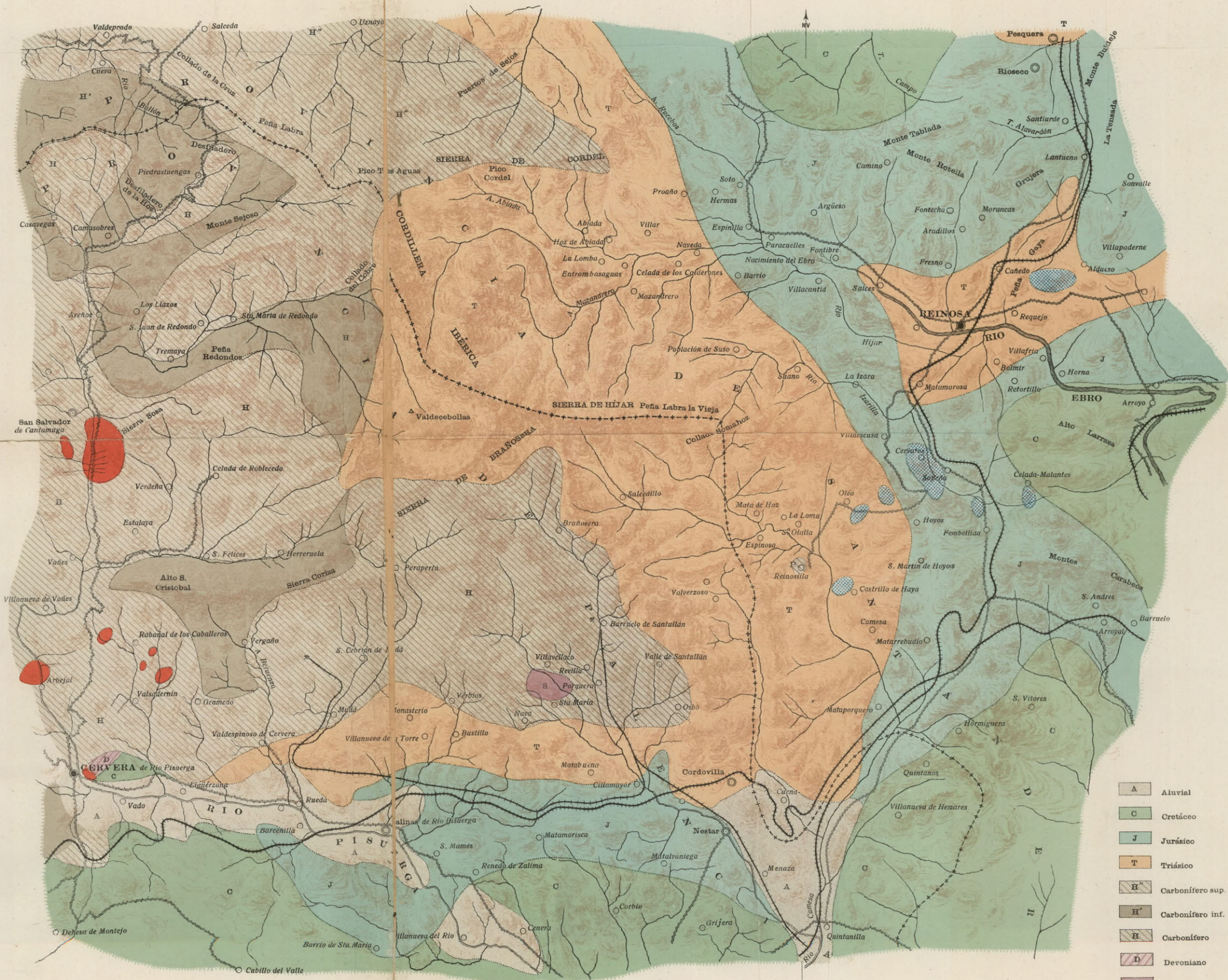
Noviembre - 1920.



CARBONÍFERO OCULTO BAJO EL SECUNDARIO

DE PALENCIA Y SANTANDER.

E. Dupuy de Lôme y Pedro de Novo y Chicarro,
Ingenieros de Minas.



- A Aluvial
- C Cretáceo
- J Jurásico
- T Triásico
- H' Carbonífero sup.
- H'' Carbonífero inf.
- H Carbonífero
- D Devoniano
- S Siluriano
- Granito
- Ofitas

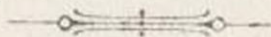
ESCALA DE 1:100.000



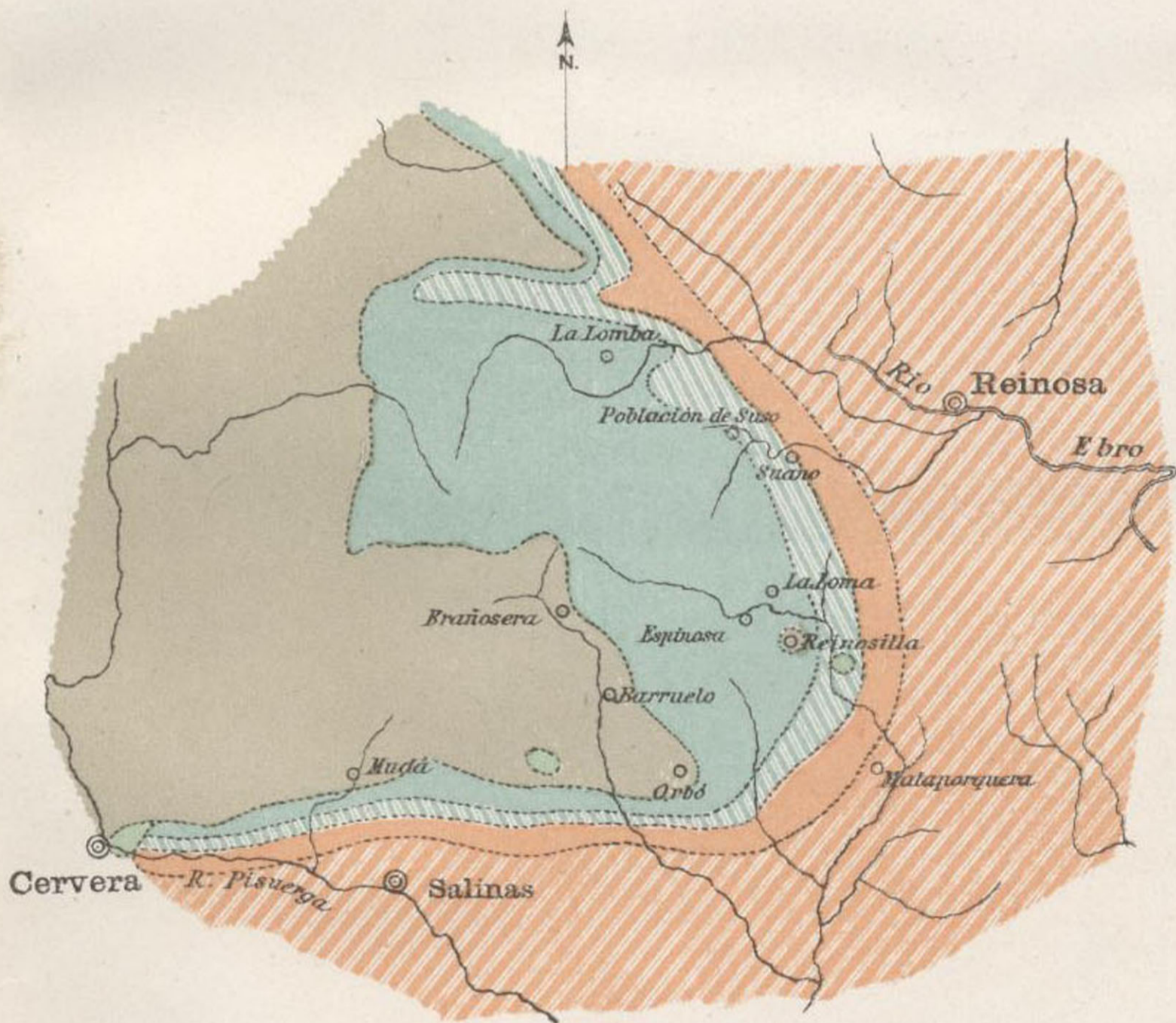
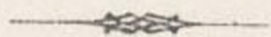
CARBONÍFERO OCULTO BAJO EL SECUNDARIO DE PALENCIA Y SANTANDER

E. Dupuy de Lôme y Pedro de Novo Chicarro

Ingenieros de Minas



Disposición aproximada de los espesores que cubren al carbonífero



ESCALA 1:400.000

- | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------------|
| | Mas de 1.000 m | } Zonas de carbonifero oculto |
| | de 500 a 1.000 m | |
| | de 300 a 500 m | |
| | Menos de 300 m | |
| | Zona de carbonifero descubierto | |
| | Zona en que falta el carbonifero | |

LA TOPOGRAFIA GLACIAR
DEL
MAGIZO DEL TRAMPAL-CALVITERO (BEJAR)
POR
JUAN CARANDELL

LA TOPOGRAFIA GLACIAR
DEL
MACIZO DEL TRAMPAL-CALVITERO (BEJAR)

En los «Nuevos datos de la extensión del glaciario cuaternario en la Cordillera Central», publicados por Obermaier y por mí en el *Bol. de la Real Soc. Esp. de Hist. Nat.*, t. XVII, 1917 (págs. 252-260), terminábamos los comentarios a Schmie-der (1), que motivó aquella nota, con este párrafo: «Resulta patente el hecho de estar delimitada, en general, el área alpino-glaciario del Trampal y de Béjar, en cuyo marco cabe ya más la posibilidad y la facilidad de emprender, en adelante, los estudios de carácter monográfico con la amplitud e intensidad requerida».

Fijados como están por el profesor Obermaier (del cual tuvimos mucho honor siendo colaborador y discípulo), los jalones fundamentales de la distribución de los focos glaciares cuaternarios en las cordilleras propiamente españolas, la labor posterior queda enormemente simplificada, por cuanto se reduce a interpolar las alturas de cualesquiera macizos cuya posible glaciología se intenta investigar, entre valores conocidos y establecidos por mi antiguo maestro y por mí en los

(1) DR. OSKAR SCHMIEDER: «Die Sierra de Gredos»; *Mitteilungen der geographischen gesellschaft in München*, t. X, núm. 1, año 1915.

«Datos para la climatología cuaternaria en España» (*Bol. de la R. Soc. Esp. de Hist. Nat.*, t. XV, p. 402, Madrid, 1915).

Dichos valores son éstos: el límite de las nieves perpetuas en la Sierra de la Estrella (Portugal), pasa por los 1.400-1.500 m., en tanto que en la de Gredos alcanza los 1.800-1.900 metros.

Siendo la altura media de la región alpina de Gredos 2.400 metros, y alcanzando el macizo de Béjar a que nos habremos



Fig. 1.—Elementos del sistema Hispano-Lusitano, 1 Trampal-Calvitero.—2. Gredos.—3. Guadarrama.—4. Peña de Francia.—5. Sierra de la Estrella.

de referir en este bosquejo una elevación análoga (2.404 metros el Calvitero; algo menos la Peña Negra y el Risco Gordo) amén de la circunstancia de hallarse enclavado entre Gredos y la sierra portuguesa antes nombrada, no era aventurado afirmar que las lagunas del Trampal y Béjar son positivamente de filiación glaciár cuaternaria (fig. 2).

Pero existe un dato que confirma rotundamente la suposición: el fascículo del Dr. Schmieder, *única fuente bibliográfica*

de positivo valor. Otros autores, como el insigne Prado, sólo apuntan vagas suposiciones; o las elevan a la categoría de datos de alguna certeza apriorística, como Penck, o, por el contrario, no hacen mención alguna de carácter glaciológico, como Donayre. (Todos ellos están debidamente comen-

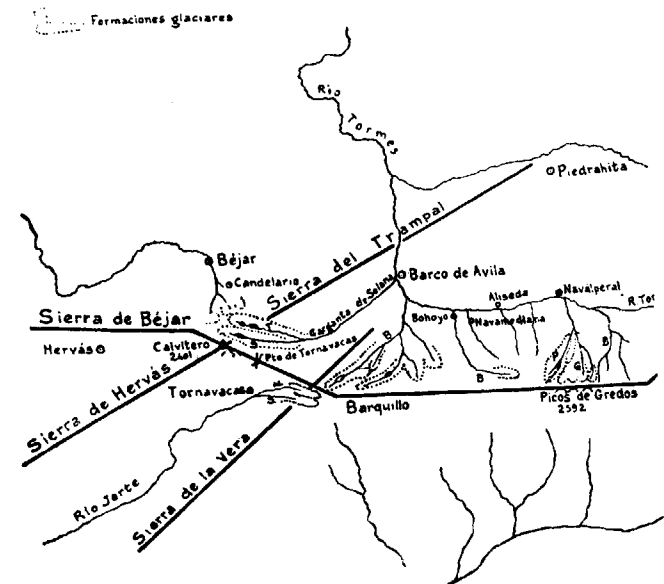


Fig. 2.—Bosquejo orográfico e hidrográfico del macizo de Gredos y ramificaciones, con la localización de las áreas glaciáres cuaternarias. Según los estudios de Schmieder y de Obermaier y Carandell. (Del Bol. de la R. S. E. de H. N., t. XVII, 1917, pág. 255.)

tados en la bibliografía inserta en el núm. 14 de la serie geológica de los *Trabs. del Museo Nacional de Ciencias Naturales*: «Contribución al estudio del Glaciárisimo cuaternario de la Sierra de Gredos», por Hugo Obermaier, en colaboración con Juan Carandell, Madrid, 1916, pág. 10).

Unos y otros tienen sus razones, ya por la época en que vivieron, ya por los medios de que disponían; que el estudio del glaciárisimo es fruto que sólo se podía cosechar en mayores latitudes y más eminentes alturas, y no es ilógico el que en

España hubiese pasado desapercibida la glaciación cuaternaria para autores cuyos prestigios son universales.

Mi excursión, ni remotamente preparada, tuvo lugar el 29 de junio del año 1923, en cuya sazón hubo de celebrar la Asociación Española para el progreso de las Ciencias su IX Congreso en Salamanca.

Las fotografías adjuntas dan idea de las circunstancias climatológicas que en el macizo bejarano concurren.

Hemos de confesar que la visita a aquellos circos es de las más cómodas que hemos efectuado con fines análogos. Desde Béjar (provincia de Salamanca) pueden visitarse en un día, disponiendo de buena cabalgadura, y sobre todo de un buen mapa y guía, con cuyos recursos cabe aprovechar mejor que nosotros un largo día de verano, sobre todo después de madurada preparación, que nos fué imposible, por imprevista.

Geografía, geología y morfología (fig. 3).—La *situación* del macizo de Béjar es al W. de la alineación de Gredos, a la cual prolonga, sirviendo de enlace a ésta y a aquél la serie de serrezuelas de menor altitud en cuya máxima depresión está el puerto de Tornavacas (1.275 metros) que actúa de enlace de los valles del Tormes (vertiente septentrional del sistema) y del Jerte, y de comunicación entre las provincias de Avila y Cáceres. De mojon a estas dos y a la provincia de Salamanca sirve, además, el macizo en que nos estamos ocupando.

Ramificaciones suyas, de poca elevación, son la *sierra de Béjar*, que se dirige hacia el NE., y la *de Hervás*, arrumbada hacia el SW.

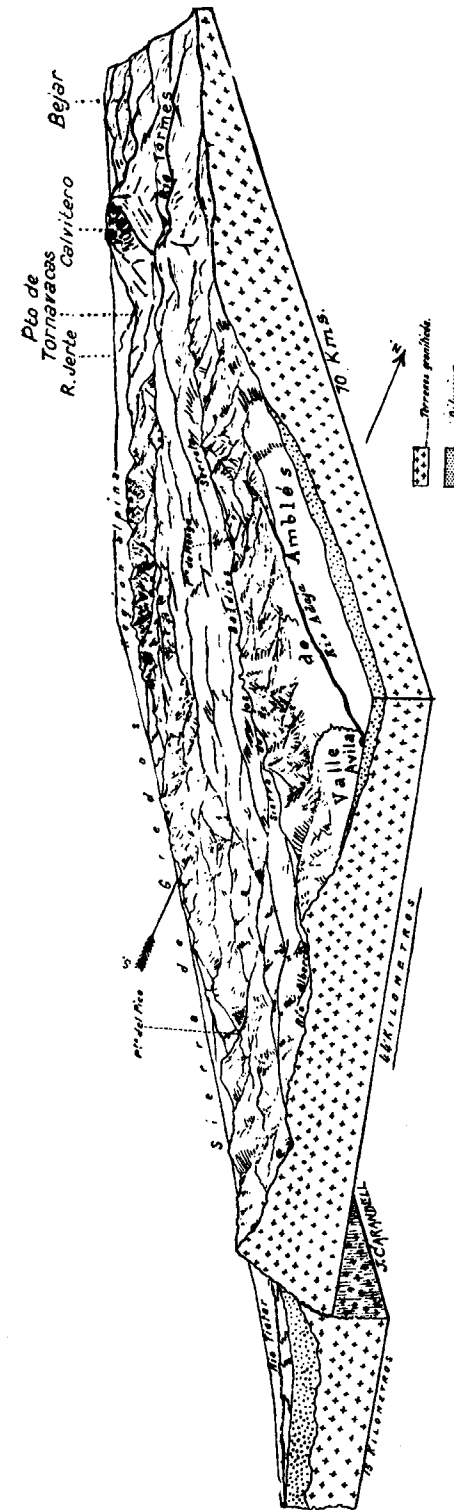


Fig. 3.—Diagrama-bloque de las Sierras de Gredos y del Trampal-Calvitero.

Por la parte de Poniente no tiene el macizo del Trampal-Calvitero otra cosa que algunas alineaciones mediocres, dirigidas como él de NE. a SW., las cuales lo aislan, en cierta pequeña medida, de la depresión que desde la desembocadura del Tajo, en Lisboa, hasta la hondonada vasca, atraviesa la meseta castellana vieja, y cuyos flancos occidentales en la región en que estamos son la Peña de Francia y la Sierra de Gata.

Calculamos de 8 a 10 km. la longitud de la cresta montañosa del Trampal-Calvitero, o sea la región propiamente alpina. Esta cresta se dirige de NE. a SW. en sus dos tercios orientales, y de N. a S. en el occidental, formando un ángulo cuyo vértice es la cabecera de la garganta del Trampal.

El pico del Calvitero radica en el extremo S. del macizo. Es vértice geodésico de primer orden.

Irradian de allí cursos de agua tributarios del Atlántico, y pertenecientes a las cuencas del Duero y del Tajo. A la primera corresponden las dos gargantas del Trampal y la Solana, que vierten en el Aravalle, río que a su vez desemboca en el Tormes, junto al Barco de Avila. A la cuenca del Tajo pertenece el río de Candelario y Béjar, el cual se forma en la vertiente septentrional del macizo, dando frente a la depresión citada en anterior párrafo, y cuyas aguas engrosan el río Alagón, tributario del Tajo.

Como rasgos *geológicos*, más bien *litológicos*, sobresale el carácter porfídico que el granito presenta, ya observado en Gredos, y que justamente anota Donayre en su «Descripción física y Geológica de la Provincia de Avila», *Memorias de la Com. del Mapa Geológico de España*, 1879, y Gil y Maestr en la «Descripción física, geológica y minera de la provincia de Salamanca», 1880, en las mismas publicaciones.

So

Asímismo abundan las inclusiones (o *gabarrones*) de gneis, que a veces forman nódulos salientes, sin duda debido a su mayor resistencia a la erosión. Todo indica un metamorfismo regional que cierra el ciclo de las reacciones endógenas.

Son frecuentes las vetas de cuarzo hialino.

En cuanto a *morfología*, las formas son pesadas y la divisoria muy uniforme en general y amplia. El relieve, en su



Fig. 4.—Aspecto estructural del granito, en lo alto de la garganta de La Solana. Enfrente (Sur), el Calvitero y la garganta de Hervás. (Véase la fig. 5, flecha n.º 10.)

conjunto, presenta esa ampulosidad tan propia del granito, sólo perturbada en aquellos lugares donde el modelado glaciar hizo mella.

La abundancia de diaclasas verticales, observada por nosotros en Gredos, y causante allí de aquellos *galayos*, *portillas*, *cuchillares*, *hermanitos*, etc., (fig. 4) se acentúa hasta la fisuración y el consiguiente desfleque allí donde los hielos han realizado y realizan su labor de cuña, reduciendo la roca a astillas. Superpuesto todo ello a una descamación esferoidal, propia del granito, que recuerda muy bien a la de las Machotas (Escorial), y también a la de otros lugares de Béjar mismo.



Fig. 4.—Aspecto estructural del granito, en lo alto de la garganta de La Solana. Enfrente (Sur), el Calvitero y la garganta de Hervás. (Véase la fig. 5, flecha nº. 10.)

Decir, finalmente, que los *piornos* (*Sarothamnus*), la digital y otras escrofulariáceas, así como los *Dorcadion*, diversos

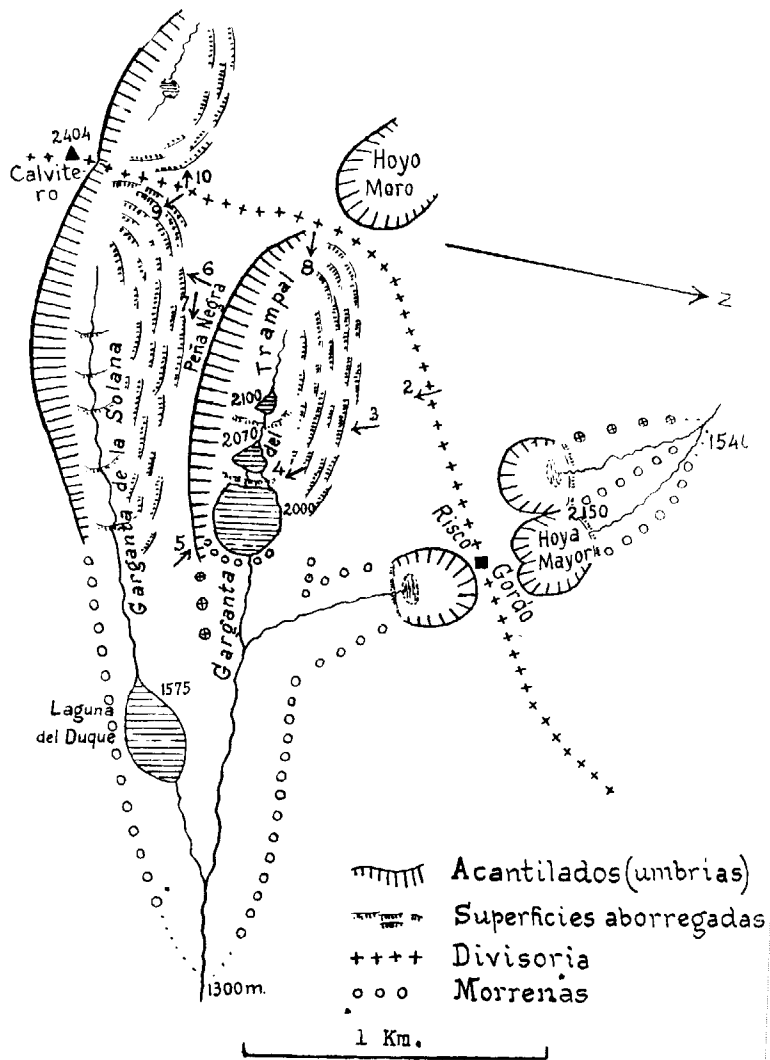


Fig. 5.—Gráfico de los glaciares cuaternarios del macizo del Trompal-Calviteiro. (Las flechas indican la dirección en que están tomadas las fotografías que ilustran este trabajo)

elatéridos, etc., constituyen los representantes fanerogámicos y entomológicos propios de aquellas elevadas cumbres en la

época en que las hemos visitado, es repetir algo de cuanto otros, con más autoridad, han manifestado en este respecto para Gredos y para el Guadarrama.

LA MORFOLOGIA ALPINA (fig. 5.)

Huellas glaciares de la cuenca del río de Candelario (vertiente septentrional).—Podríamos añadir o aclarar aún: gla-

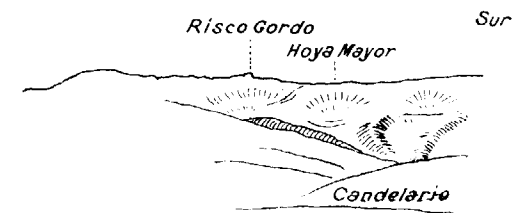
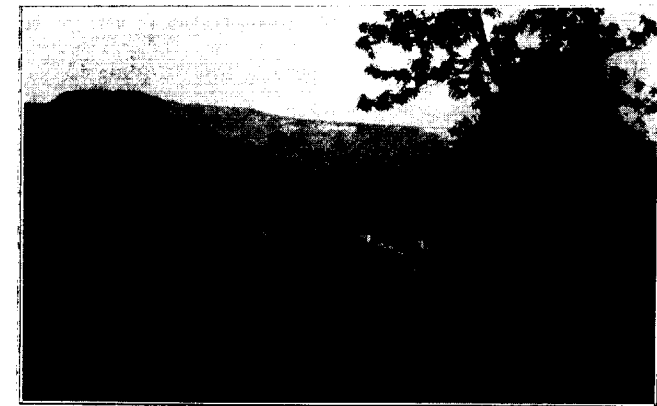


Fig. 6.—(Fotografía y dibujo explicativo).—Glaciares cuaternarios de tipo pirenaico en la vertiente de Candelario.

ciarios que daban frente a la depresión entre el macizo del Trampal y la Sierra de Francia.

Dicho se está que esta vertiente, en cuyas faldas se escalonan el pueblo de Candelario (fig. 6) y la ciudad de Béjar,

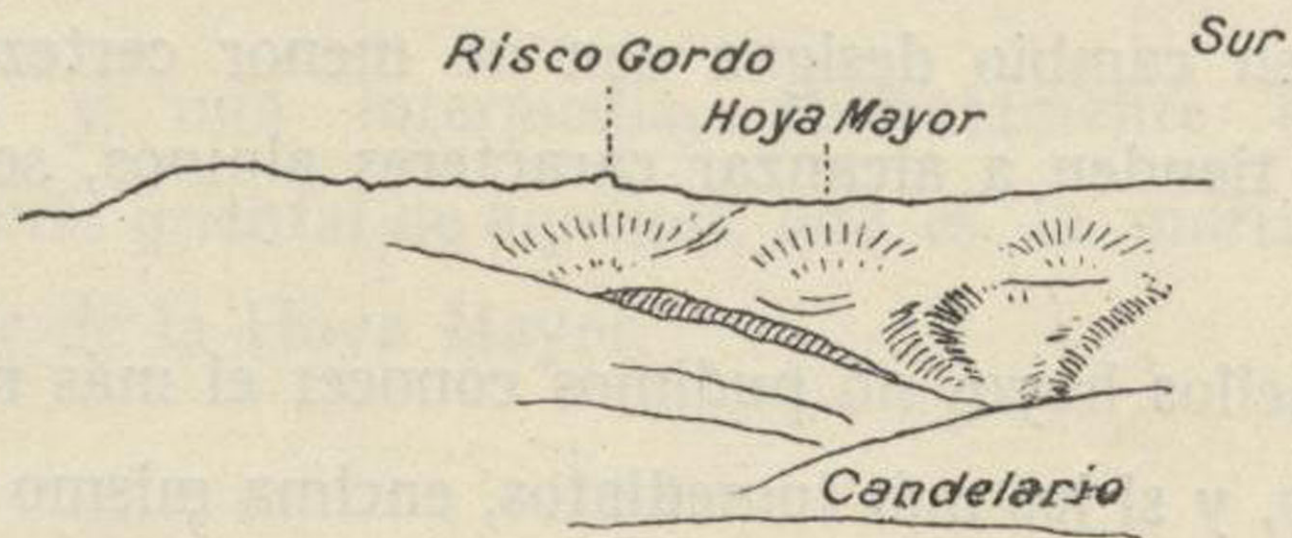
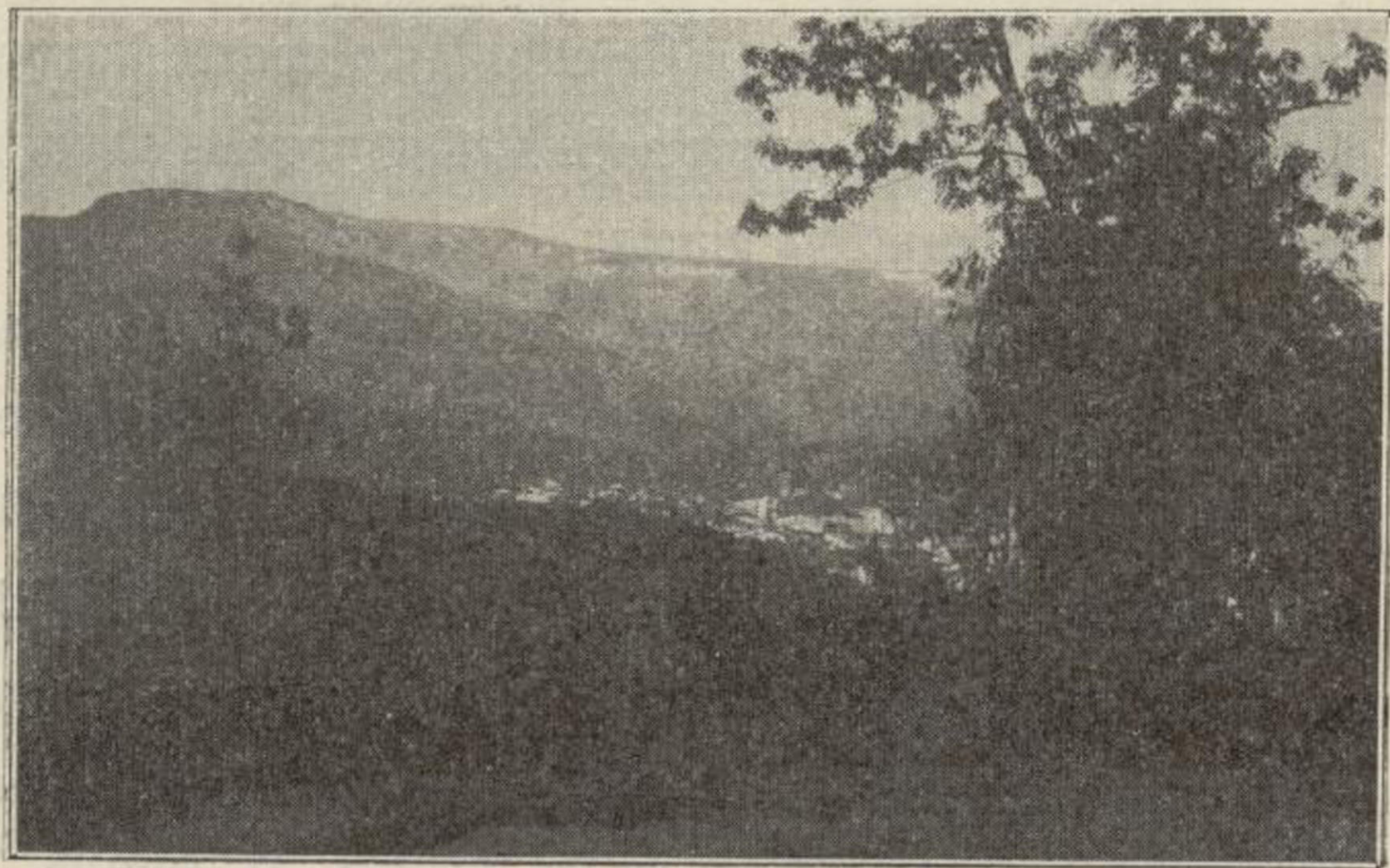


Fig. 6.—(Fotografía y dibujo explicativo).—Glaciares cuaternarios de tipo pirenaico en la vertiente de Candelario.

constituye la *umbria* de la sierra del Trampal. Resultado inmediato debiera ser que el tipo de los glaciares en aquella enclavados perteneciese a la categoría máxima: proporciones alpinas, glaciares de valle (como acontece en Gredos, precisamente).

Mas no es así; por el contrario, la depresión, tantas veces mencionada, constituye un colosal reflector térmico cuya influencia se hace sentir en aquella vertiente, en términos tales, que la merma de insolación está seguramente compensada, con exceso, por el calor reflejado. Esto aparte la rapidez de la vertiente y la no existencia de valles previos favorables a la posterior esculturación glaciár.

De ahí la consecuencia, sacada más bien de los hechos que establecida *a priori* por deducción abstracta: que los tres glaciares que llamaremos de *Candelario* sean suspendidos, de tipo pireniico. Bien claramente lo dice la palabra *Hoyos* con que se les designa, palabra que para nosotros tiene ya un valor toponímico: díganlo, si no, las Hoyas de Pepe Hernando y de la Laguna, en Peñalara, y los Hoyos de Pinilla, etc., en la misma cuerda septentrional del valle del Lozoya. La voz *garganta*, en cambio designa con no menor certeza los glaciares que tienden a alcanzar caracteres alpinos, según luego veremos.

De aquellos hoyos no pudimos conocer el más meridional, *Hoyo Moro*, y sí los más inmediatos, encima mismo de Candelario y al pie del *Risco Gordo*; uno de ellos, el que aparece a la izquierda en la fotografía (fig. 6), es la *Hoya Mayor*.

Nos complacemos en hacer honor a las observaciones de Schmieder, el cual nota el carácter embrionario de estos glaciares, fijando el reborde del circo a la altura de unos 2.150 metros, y 1.540 la terminación morrénica, cifras que debemo-

de estimar como correctas. El Risco Gordo está a 2.350 metros aproximadamente.

Estas dos hoyas de Candelario están contiguas, y de ahí que las lenguas que ambos circos emitían llegaran a confundirse, según lo atestigua la existencia de tres morrenas, dos

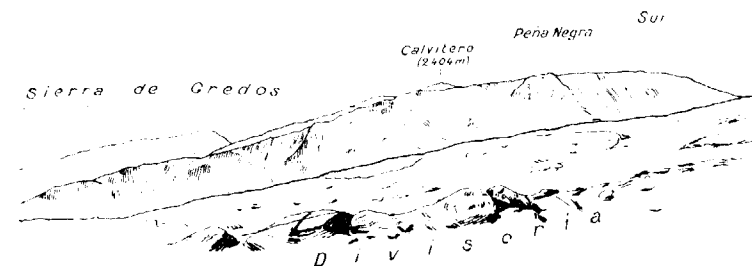


Fig. 7. — Panorama del Trampal. (Véase la fig. 5, hecho n.º 2.)

exteriores y una intermedia, perfectamente conservadas ésta y la más oriental de aquéllas, que es la morrena derecha del glaciar de la Hoya Mayor.

Vertientes meridional y occidental: glaciares del Trampal y de la Solana.—Gargantas del Trampal y de la Solana son las profundas entalladuras gracias a las cuales la ampulosidad morfológica del macizo truécase en una riqueza de relieves y contrastes propios de las altitudes alpinas. (fig. 7.)

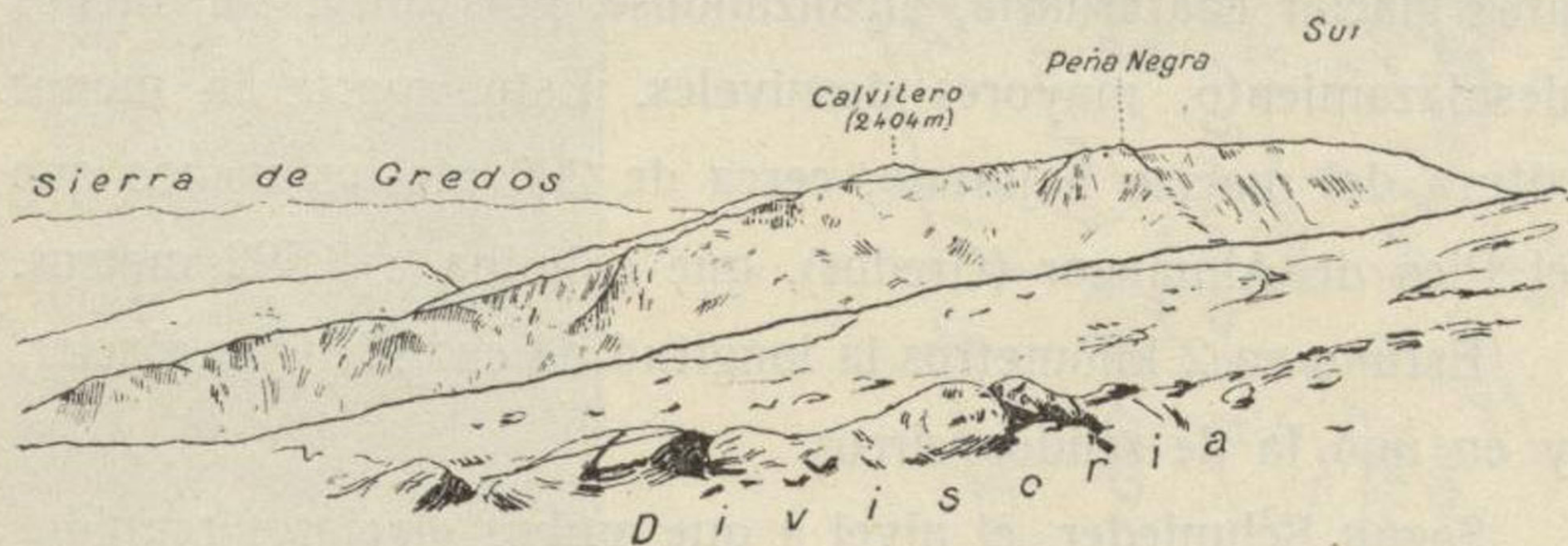


Fig. 7.—Panorama del Trampal. (Véase la fig. 5, flecha n.º 2.)

Estas dos gargantas son algo paralelas a la dirección general NE.-SW. de la elevada sierra. No son (sobre todo la del Trampal) consecuentes, no están dispuestas según la máxima inclinación de la vertiente, como las de Gredos; representan más bien desdoblamientos de aquélla.

Aunque la falta de tiempo y de plan previamente elaborado no nos permitió el recorrido completo de las morrenas exteriores de cualquiera de ambos glaciares, desde luego adelantamos la impresión de que su desarrollo era bastante más exiguo que el que tuvieron los glaciares de Gredos, debido a que las pendientes del macizo del Trampal-Calvitero son mucho más rápidas que las septentrionales de aquella otra área glaciaria cuaternaria, alcanzándose, por tanto, con menos desplazamiento, mayores desniveles. Esto aparte la menor altura del macizo bejarano, cerca de 200 metros menos que el Pico de Almanzor (Gredos), que culmina a 2.592 metros.

Estimo en 2 kilómetros la longitud de cada lengua glaciaria, y en uno la de sendos circos.

Según Schmieder, el nivel a que ambos glaciares reunidos terminaban es a unos 1.300 metros, cifra que conceptuamos desde luego como buena, toda vez que los de Gredos descendían hasta los 1.445 metros (el de la Laguna) y los 1.415 (el de las Cinco lagunas o del Pinar).

Ambos circos, Trampal y Solana (duplicado éste por un tercero, dirigido hacia el SW., que acaso provisionalmente llamaríamos *de Hervás*), se arrumban hacia el E., y tienen un común rasgo: la disimetría. Las solanas (vertientes izquierdas, más soleadas) son relativamente suaves: las umbrías constituyen un sin fin de agujas y escarpes; éstos, por cierto, aparecen en el circo del Trampal excavados en la base, incluso en bajo relieve cóncavo. Puede decirse, en su virtud, que el



Fig. 8. — Circo del glaciar de la garganta del Trampal. (Véase fig. 5, flecha n.º 3).

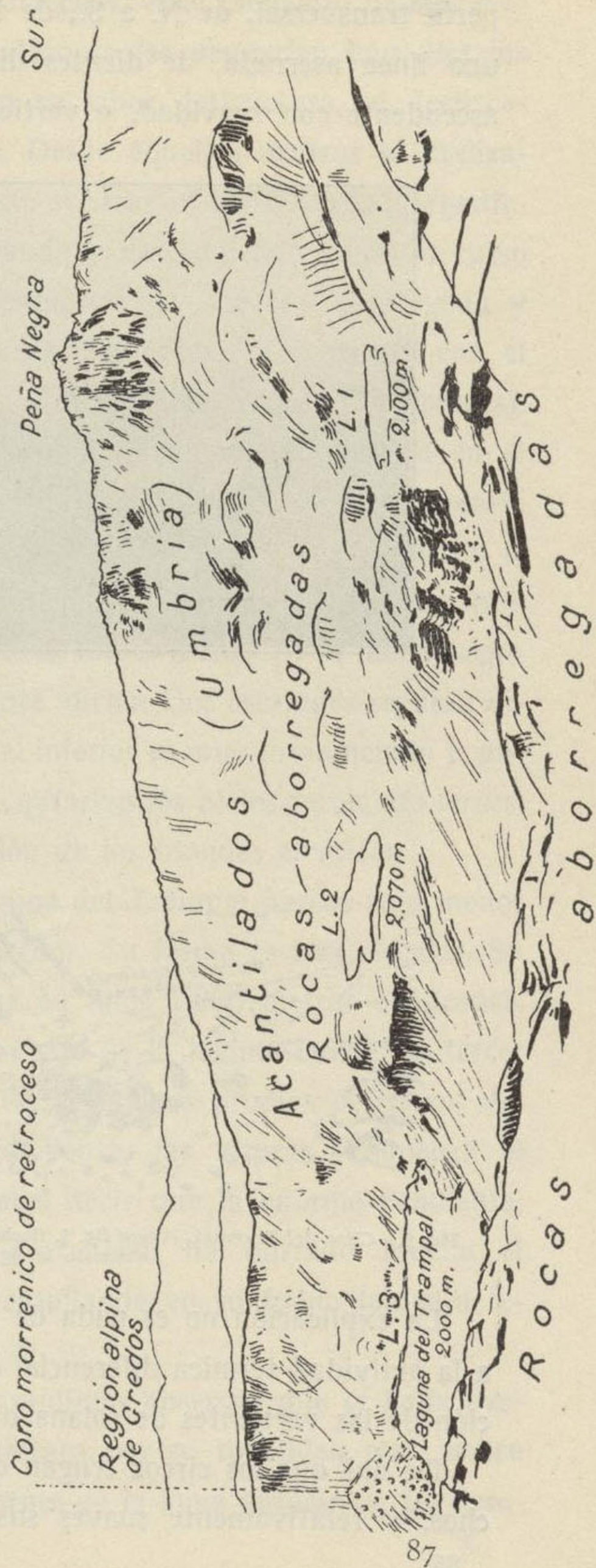


Fig. 8.—Circo del glaciar de la garganta del Trampal. (Véase fig. 5, flecha n.º 3).

perfil transversal, de N. a S., de todo el macizo bejarano es una línea aserrada, de dientes disimétricos, con el lado S. ascendente con suavidad, y vertical el lado N.

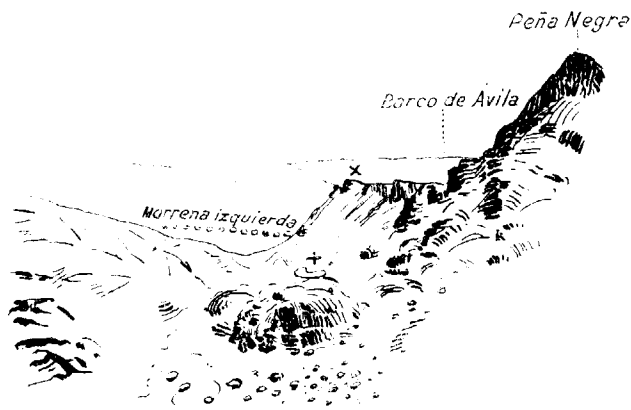


Fig. 9. Circo del Trampal. (Véase fig. 5, flecha n.º 8).— La cruz indica el punto de vista de la fig. 11.

La explicación no es nada de particular con sólo atender a la actividad térmica diferencial de los rayos solares en función de las vertientes de solana o de umbría (fig. 5).

De ahí que los circos tengan enhiestos sus rebordes derechos, y relativamente suaves sus confines izquierdos. A la

sombra de las márgenes derechas, en el momento de sobrevenir la era glaciaria, acumuláronse (se acumulan hoy día) los hielos, dando origen, con su labor destructora, al desflecamiento antes consignado. Desde aquellas nevizas se deslizaban transversalmente hasta rebasar el eje de cada garganta, para revolverse luego virando y descendiendo según el curso natural. Bien claro lo demuestra el aspecto aborregado y estriado de sendas márgenes izquierdas, en contraste con el bravo relieve de los rebordes derechos (aquí meridionales).

Por lo que al *glaciar del Trampal* afecta, existen en el fondo de su *circo*, que es alargado, tres lagunas en rosario (fig. 8 y 9). Las dos superiores, que algunos distinguen con el nombre de *Lagunillas*, están a 2.100 y 2.070 metros. La inferior, mayor que las anteriores, radica a 2.000, y se llama *Laguna del Trampal* propiamente dicha. Dos escalones separan dichos recipientes entre sí; el inferior es muy pronunciado y pulimentado: por él se precipitarían los hielos formando *séraes*. Huelga señalar la profusión de los bloques erráticos.

La extensión de la laguna del Trampal parece algo menor que la de la laguna de Gredos. Su forma es casi circular. Su superficie puede evaluarse en unos 1.800 metros cuadrados.

Inmediatamente por debajo de la laguna existe un tercer escalón, y allí terminan los caracteres propios del circo; deprímense asimismo, rápidamente, las alturas. Comienza el valle glaciario; de él podemos decir que la enorme pendiente, favoreciendo la erosión torrencial, ha borrado mucho el perfil transversal típico, entallando en su fondo las características de ésta.

La morrena izquierda pudimos observar que se halla bastante bien conservada; destaca por su tonalidad clara sobre el matiz oscuro de los piornos de la loma autóctona. La dere-

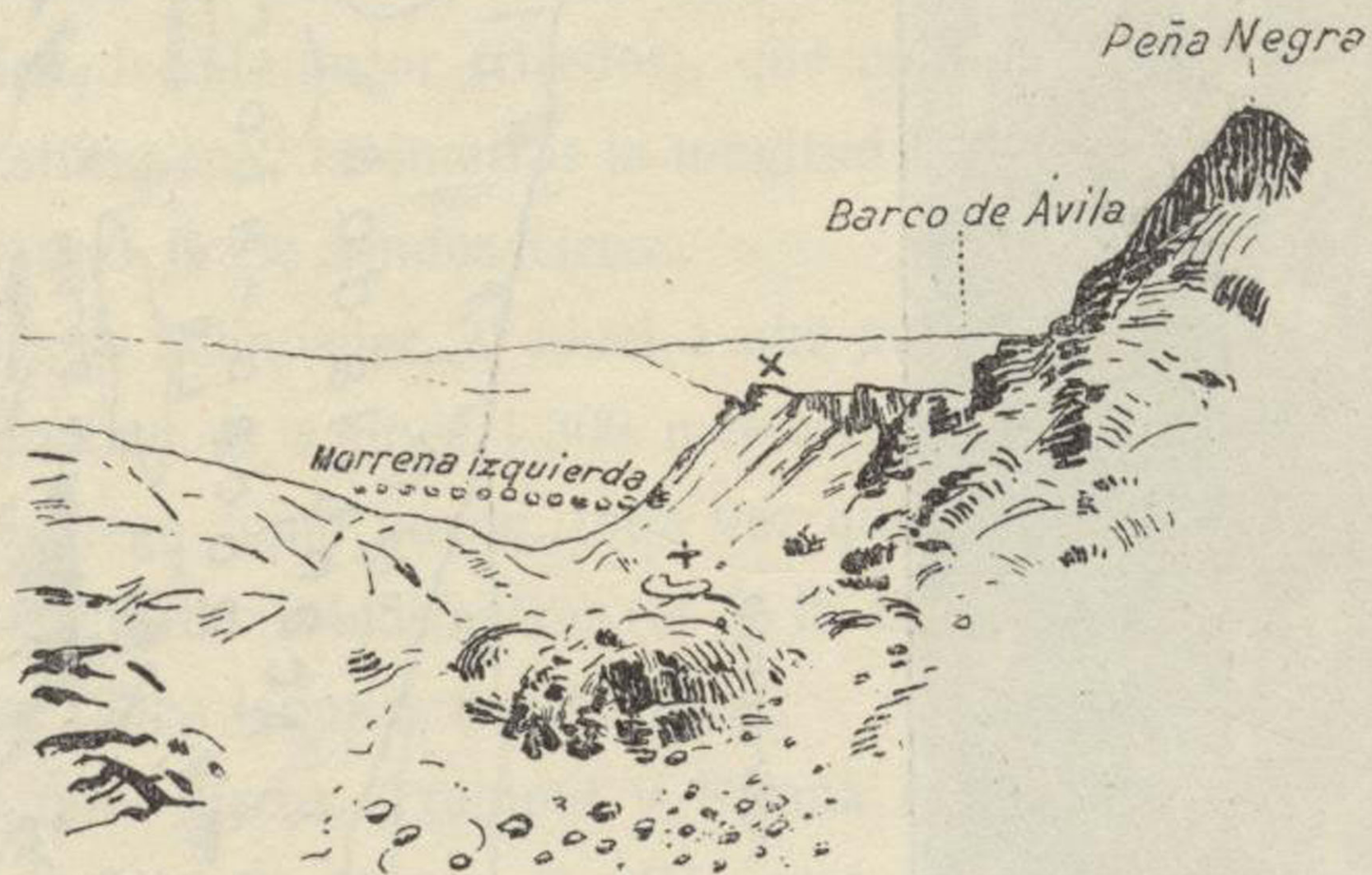
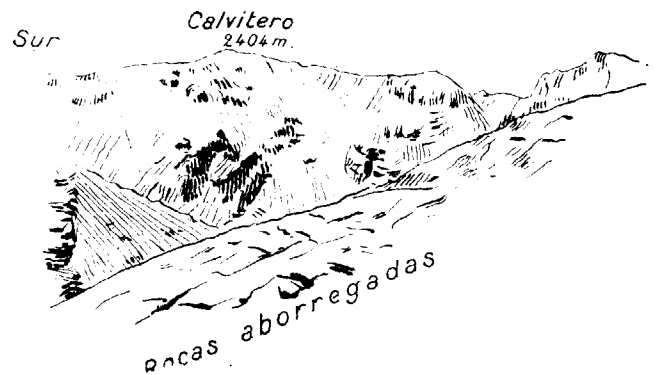
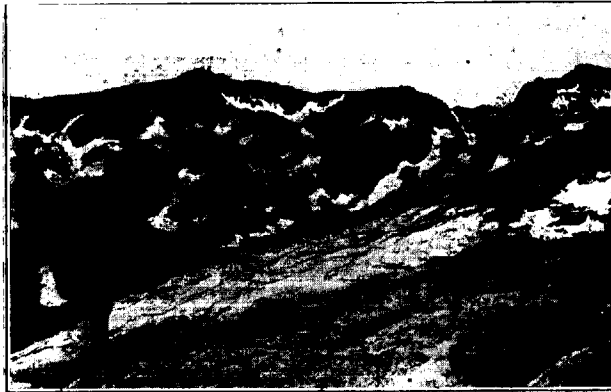


Fig. 9.—Circo del Trampal. (Véase fig. 5, flecha n.º 8).—La cruz indica el punto de vista de la fig 14.

cha se une, según Schmieder, con la morrena izquierda del adyacente glaciar de la Solana.

A 1.300 metros fija este autor la terminación común, según más arriba se dijo.



Figs. 10. Garganta de la Solana (Véase fig. 5, flecha nº. 6.)

Réstanos manifestar que, por debajo del Risco Gordo también (y a la espalda de los glaciares de la vertiente de Candelario), aparece un «hoyo», pequeño circo del cual una breve lengua descendería para soldarse con el glaciar del Trampal por su margen izquierda.

La cabecera del circo de este pequeño glaciar se corresponde, a alguna distancia, con la del Hoyo Moro, en la vertiente septentrional opuesta.

La huella del *glaciar de la Solana*, de que vamos a ocuparnos ahora, (figs. 10 y 11) también presenta aquella última particularidad, pero en su grado álgido: la labor de zapa que él realizaba y la análoga efectuada por otro enclavado en la vertiente opuesta y que se deslizaba con rumbo al W. (es el



Fig. 11. Detalles morfológicos de la umbria del circo de la Solana. (V. fig. 5, flecha nº. 9.)

glaciar que provisionalmente designamos por *de Hervás*; glaciar de valle también), han dado por resultado un rebajamiento, una entalladura tal, que ambas nevizas se confundieron en un solo foco de alimentación común. Por análogas circunstancias el borde meridional, derecho, acantilado, del Circo de la Solana se continúa por el borde izquierdo de este tercer glaciar, enormemente acantilado también, con un cordón de colosales y angulosos bloques al pie. Este glaciar de Hervás carece de lagunas típicas, aunque no faltan charcas en lo profundo del circo.

Al S. de la rebajada, descarnada y pulimentada divisoria,



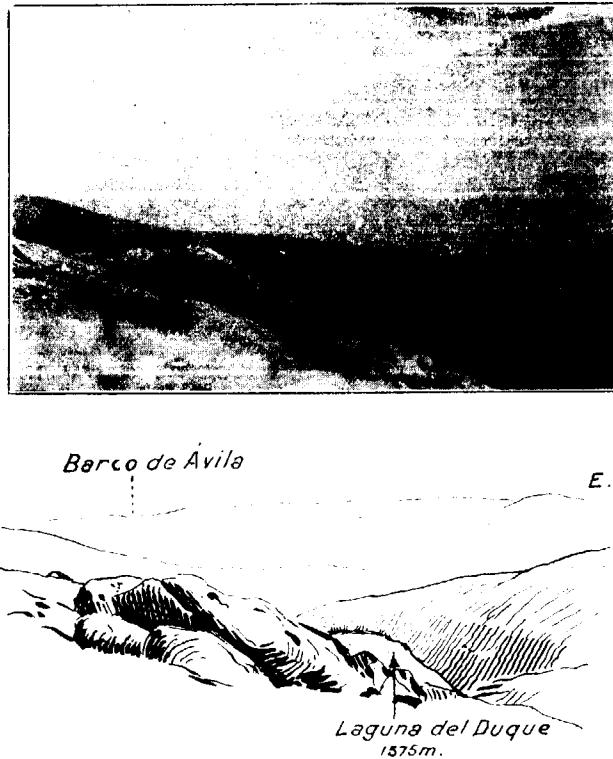
Figs. 10.—Garganta de la Solana (Véase fig. 5, flecha nº. 6.)



Fig. 11.—Detalles morfológicos de la umbría del circo de la Solana. (V. fig. 5, flecha nº. 9).

y formando parte de aquellos cuchillares, destácase la aguja del Calvitero, a 2.404 metros.

Los caracteres morfológicos del circo de la Solana pueden calcarse en los ya descritos respecto del Trampal. Sólo existe



Figs. 12. — La laguna del Duque, probablemente de dique morrénico. (V. fig. 5, flecha n.º 7.).

en aquella garganta (y no en el circo precisamente) una laguna, la *laguna de Béjar* o *del Duque*, a 1.575 metros según Schmieder. Las dimensiones son mucho mayores que las de la laguna inferior del Trampal, estimándolas nosotros como más del doble.

Tanto esta última como la del Duque están aprovechadas para fines hidráulicos, mediante presas.

La mucha menor altitud de la laguna del Duque se explicaría acaso — no tenemos, bien a pesar nuestro, datos concretos — por tratarse de un reservorio intramorrénico, de dique. El considerarla como laguna de reborde de circo nos parecería algo incompatible con la altura de 2.000 y más metros a que están situadas las lagunas del circo del Trampal, allí contiguas.



Fig. 13. — Laguna del Trampal. (Véase figura 5, flecha n.º 4).

El valle del glaciar de la Solana presenta mejor los caracteres de valle en U. La morrena derecha parece postiza o pegada al flanco.

* * *

Retrocesos.—Aparte el que pudiera considerarse como tal, de admitir la laguna del Duque (fig. 12) como laguna de dique o de barrera, señalamos uno bien claro: está determinado por el cono morrénico frontal que envuelve a la *laguna del Trampal* propiamente dicha, la inferior de las tres que ocupan el fondo de este circo. (figs. 13 y 14) Grandes y angulo-



Figs. 12.—La laguna del Duque, probablemente de dique morrénico. (V. fig. 5, flecha n.º 7).



Fig. 13.—Laguna del Trampal. (Véase figura 5, flecha n.º 4).

esos bloques forman aquel aparato detrítico, sobre barro glaciar.

Esta morrena radica precisamente sobre el escalón o reborde de tránsito entre la región de circo y la de lengua

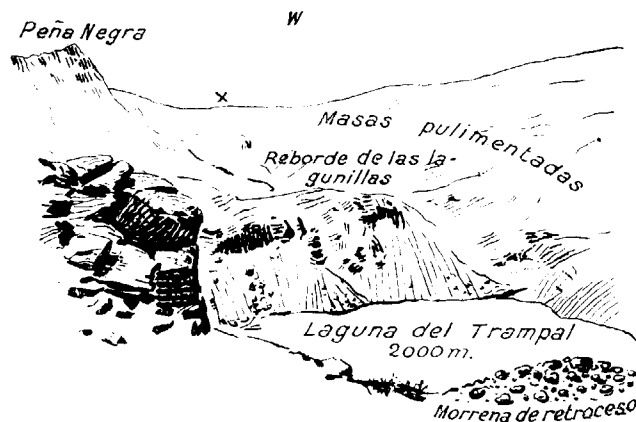


Fig. 14.—El Circo del Trampal visto desde el arranque de la región de la antigua lengua glaciar. (Véase fig. 5, flecha n.º 5).—La cruz indica el punto de vista de la fig. 9.

glaciar. Es decir, está a 2.000 metros. Recuerda muy bien, por cierto, al cono morrénico que ciñe a la laguna de Urbión (1)

(1) J. CARANDELL Y J. GÓMEZ DE LLARENA.—«El glaciario cuaternario en los macizos ibéricos».—*Trab. del M. N. de C. N.*, serie geol. núm. 22, Madrid, 1917.

En Gredos no vimos tan claramente manifestaciones de este carácter. En cambio son patentes asimismo debajo del pico de Dos Hermanas, en Peñalara (1).

Sería aventurado homologar este retroceso con los que se observan en este último foco glaciar cuaternario, y que se hallan a 1.960 (detención de Bühl) y a 2.110 (ídem de Gschnitz); pero no fuera improbable la relación entre todos.

La falta de correspondencia en las alturas (a pesar de que el influjo atlántico actúa en el macizo de Béjar en el sentido de rebajar el límite de las nieves perpetuas cuaternarias y actuales) no sería obstáculo, a nuestro entender, toda vez que está descontada que la más insignificante circunstancia topográfica —ya lo hemos visto en la influencia de la orientación, de la presencia o ausencia de cortinas montañosas— es un reactivo sensible para los detalles de la glaciación.

En caso afirmativo, la fase glaciar máxima pudiera corresponder a la última glaciación, la del Würmiense.

Quédanos por decir —y no como resultado exclusivo de nuestras observaciones, sino de las de Schmiieder con las modificaciones adoptadas por el profesor Obermaier y quien esto escribe— que el nivel de las nieves perpetuas cuaternarias en las vertientes sudorientales del macizo del Trampal-Calvitero alcanzaría los 1.700 metros de altura. Estimamos para la vertiente septentrional unos 1.850 metros.

Con esto terminamos el bosquejo, pobre desde luego ante lo notable de los aparatos glaciares extinguidos en el macizo

(1) H. OBERMAIER Y J. CARANDELL.—«Los glaciares cuaternarios de la Sierra de Guadarrama», *Trab. del M. N. de C. N.*, serie geol., núm. 19, Madrid, 1917.

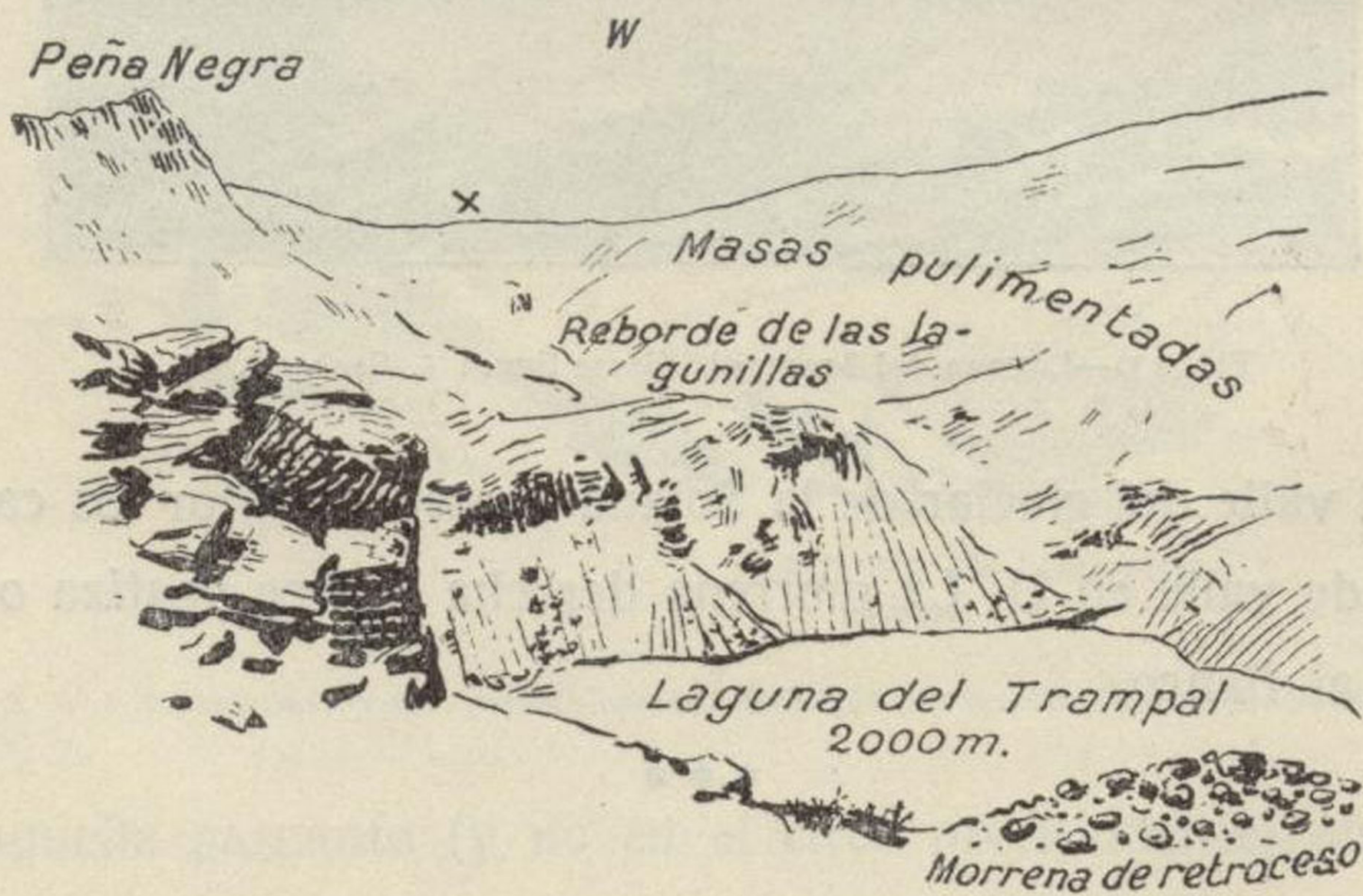
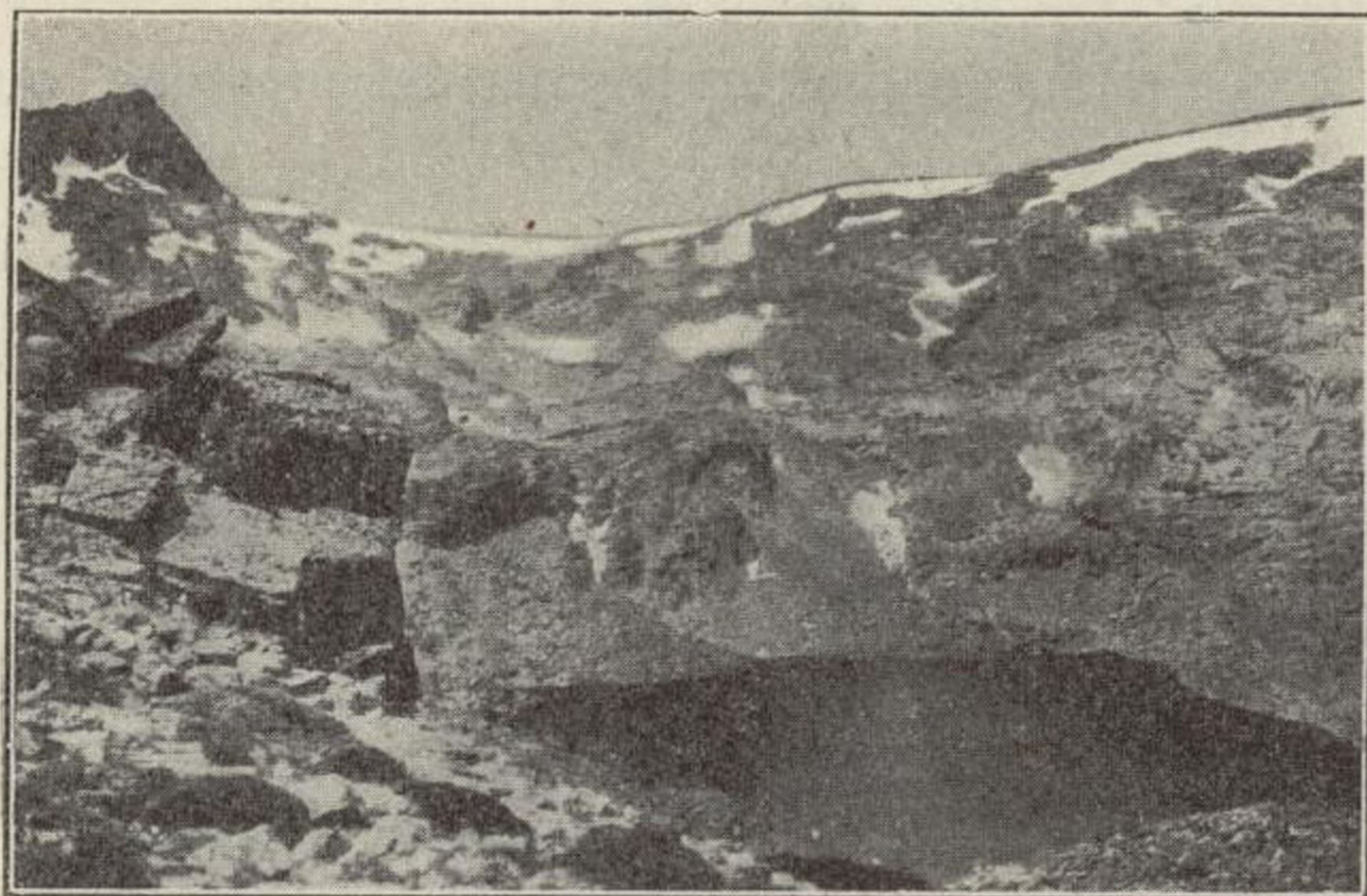


Fig. 14.—El Circo del Trampal visto desde el arranque de la región de la antigua lengua glaciar. (Véase fig. 5, flecha n.º 5).—La cruz indica el punto de vista de la fig. 9.

bejarano, de tal modo que si otra cosa no ofrecieran aun, quedaría siempre una circunstancia especial, tal vez única en los focos de glaciación cuaternaria del Sistema Central (Peñalara, Gredos y aquél mismo): la de haber tenido glaciares en ambas vertientes, lo que permitió reunir en reducido espacio lo dos tipos clásicos, pirenaico o suspendido, y alpino, (es decir, como los de Peñalara y todos los del valle alto del río Lozoya, y como los de Gredos, respectivamente), modalidades que, según dije antes, cuidó muy bien Schmieder de hacer resaltar.

**SOBRE UNA ZONA ARGENTIFERA
EN LA SOMOSIERRA**

POR

RAFAEL FERNANDEZ AGUILAR

INGENIERO DE MINAS

SOBRE UNA ZONA ARGENTIFERA EN LA SOMOSIERRA

I

DESCRIPCION GEOGRAFICA

La región que va a ser objeto de este estudio está situada al N. de Madrid, a 90 kms. por la carretera general a Francia por Irún. Se encuentra en la unión de las provincias de Madrid, Segovia y Guadalajara, perteneciendo la mayor parte de la zona a la primera.

Su altitud está comprendida entre los 1.000 m. sobre el nivel del mar y los 2.126, que es la del cerro de La Cebollera. En ella están emplazados los siguientes pueblos: en la provincia de Madrid, Aoslos, Bellidos, Brajos, Buitrago, Gascones, Horcajo de la Sierra, Horcajuelo de la Sierra, La Aceveda, La Iruela, La Puebla de la Mujer Muerta, La Serna, Madarcos, Montejo de la Sierra, Paredes de Buitrago, Prádena del Rincón, Piñuecar, Robregordo, Serrada y Somosierra; y en la provincia de Segovia, Cerezo de Abajo, Cerezo de Arriba, Santo Tomé del Puerto y Villarejo.

Toda la región es extremadamente montuosa, pero de una constitución muy sencilla, puesto que se puede considerar un lomo elevado, la dirección general de la sierra que va de SW. a NE. y del que salen al NW. escasas estribaciones sin importancia en la provincia de Segovia y al SE. abundantes espolo-

nes que se subdividen, dando lugar a la formación de numerosos barrancos y contrafuertes que hacen muy complicada la topografía, tanto en la provincia de Madrid, como en la de Guadalajara, constituyendo el macizo montañoso conocido por La Somosierra.

La hidrografía está constituida por el río Jarama, como más importante, cuya parte de cuenca hasta Colmenar de la Sierra sirve de límite oriental a la zona que me ocupa. Luego hay numerosos arroyuelos en la provincia de Madrid, todos tributarios del Lozoya que corre bordeando al Pueblo de Buitrago, y vierten en los embalses de las presas de El Villar y Puentes Viejas, que surten a Madrid; todos estos arroyos están cortados por pequeños saltos que se aprovechan, bien para mover insignificantes molinos harineros, o bien para la producción de electricidad para el alumbrado de algunos pueblos. Y, por último, en la provincia de Segovia aún son en menor número y menos importantes los arroyos que envían su caudal al río Duratón, tributario del Duero; únicamente es digno de tenerse en cuenta el que baja por el puerto de Somosierra, cuya fuerza es también aprovechada en un molino.

La única vía de comunicación actual es la carretera ya citada, de la que sale junto a Santo Tomé del Puerto, en la provincia de Segovia, otra carretera que con un recorrido de 55 kms., y bordeando el Guadarrama, conduce a Segovia.

La mayoría de los pueblecillos comunican entre sí y con la carretera por malos caminos, de herradura muchos, por lo que son bastantes los pueblos que estando a unos 75 kms. en línea recta de la capital de la nación ¡no conocen todavía los carros!

En la actualidad se empiezan a construir dos carreteras que unirán los pueblos de La Iruela, Montejo y Prádena con la general.

La zona es rica en pastos y montes, principalmente de robles de los que sacan carbón que conducen en carretas a Madrid, hallándose en la provincia de Guadalajara los más importantes. No obstante, en Montejo, cerca de El Cardoso, hay un hermoso bosque de 122 hectáreas de extensión, denominado El Chaparral, que está formado de hayas y robles, principalmente. Se considera como el hayedo más meridional de Europa.

También es abundante la fruta, teniendo fama justificada la de La Iruela.

II

DESCRIPCION GEOLOGICA

La zona que nos ocupa está constituida principalmente por el terreno estrato-cristalino, si bien a poniente se encuentra el ísleo granítico del puerto de la Aceveda y a levante el siluriano, separado del estrato-cristalino por una estrecha faja de cambriano dudoso. Todo ello, siluriano y cambriano, separa el gran manchón estrato-cristalino de la provincia de Madrid, de los afloramientos que este mismo terreno tiene en la de Guadalajara, en Hiendelaencina y la Bodera. Por último, entre las dos Cerezos, se llega al contacto con el cretáceo y el diluvium de la provincia de Segovia.

Terreno granítico.—Forma tres apuntamientos de poca extensión; uno a poniente, en el puerto de La Aceveda; otro, insignificante, al N. del pueblo, a media ladera de la sierra, en el límite de la jurisdicción de Robregordo; y el tercero al SE. de Cerezo de Arriba.

En la primera mancha la roca es un granito de grano fino, escaso en cuarzo y de color oscuro.

El granito de la segunda mancha es un granito rojizo, de grano fino, muy descompuesto, con escasa mica irregularmente distribuída. Esta misma roca aparece nuevamente en la caja del filón de la mina «La Caridad», en La Aceveda.

En Cerezo de Arriba, al SE. del mismo, hay un cerro llamado El Cogorro, en el cual aparece una roca granítica muy alterada; es de un color blanco amarillento, muy pobre en mica. En algunas puntos se ve la misma roca en la que se ha reunido la mica formando grumos y tiene partes muy teñidas de rojo, y en otros aparece el cuarzo confusamente cristalizado. Seguramente es este granito el que cita el Sr. Cortazar en su descripción de la provincia de Segovia.

Terreno Neísico.—Es, como he dicho, la masa principal de toda la zona, y en ella se encuentran todas las rocas del estrato-cristalino desde el neís granítico hasta las micacitas.

Existe un neís granítico, el cual es más bien un verdadero granito, en el que la mica se reúne y forma capas orientadas en una misma dirección y es pobre en feldespato. Esta roca se encuentra en los filones de La Aceveda, tanto en la mina «La Caridad», como en el grupo principal de minas, en el camino entre La Aceveda y Robregordo. Esta roca aparece próxima a las manchas graníticas que hay en esta parte, por lo que creo debe atribuirse su estructura al dinamometarmorfismo, esto es, que las presiones orogénicas hayan producido este efecto. En ninguna otra parte he vuelto a ver dicha roca.

El espolón montañoso que separa los términos de Horcajuelo y Madarcos, está formado por un neís de elementos gruesos muy semejante al granito, tanto por sus formas redondeadas como por su estructura.

Un neís muy abundante en el Guadarrama y que también aparece en La Somosierra, aunque con menos frecuencia, es

el neís que D. Casiano de Prado llamó *neís porfídico*, muy semejante al anterior, pero más compacto. Acaso le convendría mejor a esta roca el nombre de *neís nodular*, puesto que son verdaderos nódulos ovalados los que presenta, cuyas dimensiones varían de 2 a 15 centímetros y carecen, en general, del contorno cristalino que tienen los fenocristales en las rocas de estructura porfídica. Dichos nódulos, que se encuentran sueltos en algunos sitios, como sucede en el Cerro de la Cebollera en esta zona, y en la región minera de Hiendelaencina, están constituidos generalmente por la ortosa: son de un color blanquecino amarillento o grisáceo y se encuentran muchas veces recubiertas de mica. Este es un neís inferior que aparece en la región, en La Cebollera, en el río Barbellido, frente a Bocigano y en otros sitios.

Una roca muy interesante, que se presenta en esta zona con gran desarrollo, más que en la de Hiendelaencina en donde es característica, es el neís de cordierita. Este neís que es rico en cuarzo, tiene grandes cristales de feldespato y la mica, (biotita,) está formando grupos de laminillas, entre todo lo cual se encuentran diseminadas las cordieritas, siempre muy alteradas, en gránulos redondeados que llegan a alcanzar tamaños de un centímetro. Se encuentra esta roca en la confluencia del río Barbellido con el Jarama, en El Cardoso, en La Iruela, donde aparece atravesado en algunos puntos por venas de cuarzo con anfíbol negro; por el S. de Costiniesta, viniendo de Peñalba a El Cardoso, se atraviesa durante una hora, lo cual demuestra el espesor tan grande que tiene; y, por último, también se cruza este material al NW. del puerto de Somosierra, por el camino que conduce a Siguero, en la provincia de Segovia. También lo hemos encontrado a la salida del pueblo de Montejo, en la calle del Agua.

El neis más abundante en la región está constituido por una roca de fractura astillosa, en la que el cuarzo escasea y abunda la mica de color pardo, la biotita. Esta aparece pocas veces formando láminas sueltas de consideración, pues no la he encontrado más que en Montejo y en Robregordo, pero su tamaño no pasa de unos dos y medio centímetros. Más abundante es la mica blanca, que se presenta en grandes láminas entre el cuarzo, sobre todo entre Gandullas y Paredes de Buitrago, donde hay gran cantidad de este último mineral, que se utiliza para la construcción de la presa de Puentes Viejas. Esta misma mica la he encontrado en láminas que no pasarán de unos diez centímetros en el Prado Chico, cerca de Montejo, en el valle del Jarama y en La Aceveda. Se presenta en pequeñas láminas de dos a cuatro centímetros y unida a la turmalina en muchos filones de cuarzo o pegmatíticos. Entre Somosierra y los Cerezos no tiene la roca otra mica distinta de la biotita.

Al S. de Prádena del Rincón hay un banco de varios metros de potencia, constituido por una leptinita de mica blanca, con un color blanco amarillento salpicado de manchas rojizas, debidas a la descomposición de los granates que en escaso número posee. A la salida de Horcajuelo, pasadas las eras del río, se encuentra otro dique de menor potencia de la misma roca. A causa de la finura de su grano la emplean en el país como piedra de sillería.

También es muy frecuente el neis micáceo, que sólo se diferencia de la micacita en la presencia de escaso feldespato. La mica de esta roca es de un color blanco plateado, en general, y se presenta en forma de pajitas muy abundantes y orientadas en el mismo sentido, formando capas; también presenta la roca en algunos puntos trocitos de biotita, lo que fácilmente se conoce por el teñido rojo a que da lugar su descomposición.

Este neis y la micacita son las rocas que presentan gran número de silicatos de metamorfismo como la andalucita, fibrolita, distena, estaurolita, otreilita y granates. El neis micáceo se encuentra principalmente entre Montejo y El Cardoso, habiéndolo también en Horcajo, Prádena, Paredes y en el valle del Jarama, al pie de Costiniesta.

La micacita es un neis que ha perdido su feldespato, que sólo accidentalmente se encuentra en ella. Es muy astillosa generalmente y en algunos puntos se deshace, dando una arena que brilla mucho al sol a causa de las numerosas hojuelas de mica. Esta roca se ve en el camino de Paredes a Gandullas al atravesar el río de las Puentes.

Se encuentra una micacita compacta, de color vinoso, en una cantera abierta con objeto de sacar grava para la carretera a la derecha de la misma y poco antes de llegar al pueblo de Somosierra. En este punto, alternando con la micacita, se ven unas pequeñas capas de neis y cuarzo muy impregnadas de hematites. En conjunto se forma un dique de unos diez a doce metros de potencia.

En el camino de la Iruela a Montejo, a poco de salir de La Iruela, hay una micacita con grandes otreilitas, y en el collado que se pasa por dicho camino, asoman unos grandes crestones de micacita granatífera que van N. 30° E. y casi verticales, con buzamiento a levante.

Antes de subir a dicho collado, viniendo de Montejo, se atraviesan varios lechos de micacitas, en las que abundan unas veces las estaurolitas y otras los granates.

Cerca de El Cardoso, hay unas micacitas con quiastolita y granates. También hay micacitas con estaurolitas y granates en el mismo término de El Cardoso, en la Hoya del Riscal.

Hay unas micacitas, muy ricas en cuarzo, que son casi unas

verdaderas cuarcitas. Se encuentran formando lechos entre las micacitas de granates y estaurólitas en el cerro de las Picayuelas, situado entre los collados de Jarama y de La Iruela. Un lecho semejante, pero de color vinoso y con algunos granates se cruza antes de llegar a las Casas de la Nava marchando de Buitrago a Montejo. Por el camino que va de este último a La Puebla, se atraviesa otra vez esta roca que allí tiene un color claro y carece de granates; estas mismas capas vuelven a aparecer en el cerro del Porrejon. En la salida de Montejo, junto a la ermita, se encuentra la misma roca.

En numerosos puntos se encuentran diques de pegmatitas en los que abundan las turmalinas y las láminas de mica. Estos diques son en general paralelos a la estratificación, pero también los hay normales. Tienen mucha turmalina los que se atraviesan marchando de Somosierra a Sigüero, y grandes láminas de mica los de Paredes. Un dique de varios metros de potencia aparece en la dehesa El Valladar, en Montejo, y viniendo a éste desde Buitrago, poco después de la fuente de la Nava, el camino va por dos diques de esta roca, en la cual, una vez caolinizada, por ser más blanda que los neis en que está encajada, el desgaste ha hecho unos profundos surcos. Al N. de Montejo son muy abundantes los filones de pegmatitas.

Pasado el puerto de Somosierra y en la bajada a la provincia de Segovia, en la ladera de La Cebollera, se ve un apuntamiento de calizas cristalinas que tendrá unas dimensiones de unos cuatro por diez metros, estando intercalado entre las capas de neis. Presenta unas vetas de color oscuro, debido a estar en aquellas partes más cargadas de mica; también se ven en la masa pequeños cristales de pírta.

En el camino que de Buitrago va a Gandullas y poco antes

de este último, he encontrado formando un dique que atraviesa las capas neísicas, una roca microcristalina de color verdoso, y que indudablemente es una roca volcánica básica, seguramente una microdiorita.

Bajando de la sierra a Riaza, parece a primera vista que se entra enseguida en un diluvium formado por los derrubios de la sierra; pero no sucede así hasta muy cerca de Riaza, en que el terreno es muy arenoso, de tono rojizo y con cuarzoes muy rodados. La faja anterior es una expansión del estrato cristalino de Somosierra, explicándose la presencia de los cartos sueltos, como el resultado de una alteración *in situ* de las micacitas y neis que indudablemente forman el subsuelo y se ven aflorar en los arroyos.

Terreno cambriano.—Como ya digo al principio, este terreno que está señalado en el mapa geológico formando una estrecha banda que va de N. a S. desde La Iruela a Patones, creo que no existe, al menos en la parte que yo he recorrido, que es la comprendida entre El Atazar y La Iruela. Mas bien creo que sea el siluriano que aparece indudable poco después.

La carencia de fósiles bien determinados hace que la duda subsista, por lo que yo, dadas las pocas diferencias entre esta banda y la mancha francamente siluriana la incluyo en este último terreno.

Esto ya lo afirma D. Casiano de Prado, que asegura en la pág. 92 de su *Descripción de la provincia de Madrid*, que «no hay otro terreno que se pueda considerar como intermedio entre el neísico y el siluriano...»

Terreno siluriano.—Tiene una indudable importancia en este estudio, por ser el terreno que separa toda la gran mancha del estrato-cristalino, cuya parte más oriental es la que nos ocupa, de la mancha dividida en dos por el diluvium y en

la que se encuentran las minas de La Boderá y Hiendelaencina.

Está representado por las pizarras y cuarcitas, las cuales se hallan en perfecta concordancia, al parecer, con las micacitas inmediatas del estrato cristalino.

Las pizarras son de un color azulado obscuro y en ellas abundan las estauroлитas, los granates y las otreлитas: en su contacto con el estrato-cristalino se hacen muy micáceas. Pizarras con granates se encuentran en Bocigano y en el collado de El Salteadero, en El Cardoso. Con otreлита se ven hacia la Puebla de la Mujer Muerta, en toda la cuerda entre Peña la Cabra y Porreјón.

Las pizarras que forman la cumbre de Peña la Cabra y el espolón que separa el Riato del río de la Puebla son negras, muy micáceas y entre ellas se encuentran hematites y limonita, en pequeñas cantidades.

Las cuarcitas, más bien que encima de las pizarras se encuentran intercaladas entre ellas, presentándose escasos lechos y poco potentes en general, en la provincia de Madrid; pero abundantes en la de Guadalajara, y tan potentes, que el cerro del Jabonar o de San Cristóbal, en Colmenar de la Sierra, es un enorme anticlinal de ellas. También la cumbre de Costiniesta, en El Cardoso, está constituida por cuarcitas.

Hay unas cuarcitas que pasan insensiblemente a micacitas cuarzosas, esto es, unas psamitas; suelen tener un color amarillento o vinoso. De esta roca se presentan bancos de ocho a diez metros de potencia, a veces plegados, en el barranco por donde corre el Riato.

Entre los fósiles citados por D. Casiano de Prado en este terreno, figuran varias *crucianas* y *scolithus* indiscutibles, y un *orthoceras* y una *lingula*, dudosos. En esta región, como ya he

dicho, son muy escasos los fósiles y sólo he visto *crucianas* en las cuarcitas del camino de La Puebla a Montejo y cerca de Colmenar, y algunos *sanguinolites* en molde, y dudosos, en el camino de Robledillo de la Jara a La Puebla. Todos pertenecen a la fauna segunda, correspondiente al siluriano inferior.

La sucesión de los materiales en La Somosierra, de abajo arriba, parece ser la siguiente:

1. Neis glandulares, con poco desarrollo.
2. Grupo del neis cordierítico-micáceo. El neis cordierítico tiene un gran desarrollo, siendo más abundante aún que lo es en el grupo de Hiendelaencina. Esta roca es muy rara en la sierra de Guadarrama.
3. Serie de las pizarras cristalinas, especialmente micacitas. También este grupo alcanza en esta zona un enorme desarrollo, siendo escaso en todo el resto de la cordillera central.

El tránsito de unos a otros tramos no es brusco, sino por intercalaciones repetidas y cada vez más potentes y numerosas del material que va a sustituir al otro.

Parece que La Somosierra es la rama oriental de un gran anticlinal estrato-cristalino, roto y fallado en la charnela. La falla (normal), ha dado lugar a la depresión del puerto de Somosierra y a que aparezcan los neis glandulares en la falda occidental de La Cebollera. También explica esto las dos bandas mineras principales: una en La Aceveda, en la rama occidental del pliegue; otra, en Horcajuelo-Prádena, en la rama oriental.

Acaso la sierra de Guadarrama con La Somosierra y su prolongación oriental, sea una serie de pliegues interrumpidos por fallas que van haciendo aparecer sucesivamente las tres zonas del arcaico. Así se ven los neis glandulares de la base muy desarrollados al este del puerto de Navacerrada (Cabezas

de Hierro), vuelven a encontrarse al E. del puerto de Somosierra (Cebolleras), vuelven a verse en Hiendelaencina, etc. Un estudio sistemático del macizo central marchando de W. a E. desde los límites de Gredos (casi totalmente granítico), permitiría confirmar o desechar la hipótesis y reconocer los diversos pliegues que forman la serie, sus fracturas, los materiales que en cada una de éstas se pone al descubierto, etc.

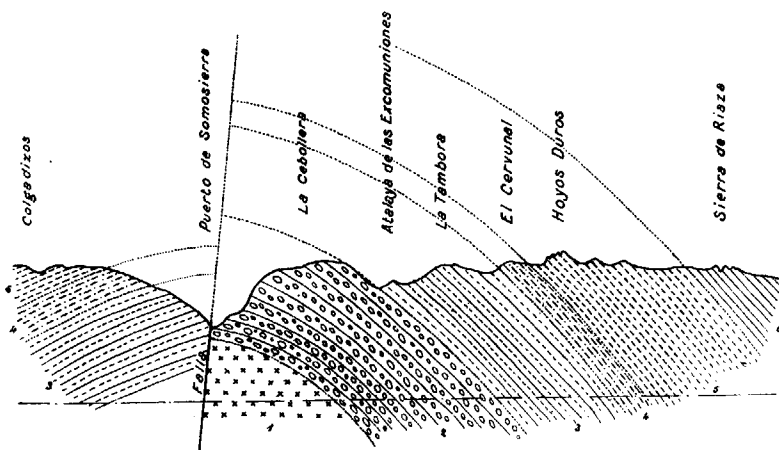


Fig. 1.—1, Granito;—2, Neis Grandular;—3, N. Cordierítico;—4, N. Micáceo;—5, Pizarras cristalinas.

La porción minera del complejo parece corresponder al grupo del neis cordierítico-micáceo, al menos en Somosierra. Obsérvase que los minerales de plata parecen relacionarse con el neis de cordierita, abundante en las zonas de Hiendelaencina y Somosierra, y escaso en el resto de la sierra, donde la metalización es de cobre, pirita arsenical y, con menos frecuencia, plomo (cobres de Garganta, Colmenar Viejo, Torrelodones, etc.; pirita arsenical de Bustarviejo y Tamajón; plomos de Colmenar del Arroyo, Gargantilla, etc.).

Los materiales paleozoicos (cambriano-siluriano) están, como ya he dicho anteriormente, en perfecta concordancia

con los estrato-cristalinos. Acaso todo ello no sea más que una serie continua de sedimentos metamorfizados, tanto más cuanto más profundos.

La distribución de los diversos minerales de metamorfismo en el espesor de la serie de estratos del estrato-cristalino, es la siguiente:

Turmalina.—La hay por todo el espesor, pero predomina en la base y en los diques pegmatíticos que atraviesan los materiales del grupo 2.

Rutilo.—Escaso. Se encuentra muy confinado en la parte alta del grupo del neis cordierítico-micáceo. Abunda relativamente en una banda que va del Lomo de la Cabezada a Madarces y el Chaparral de Piñuecar. Va disminuyendo de esta banda hacia Montejo y El Cardoso.

En la formación de este mineral y el anterior parecen haber influido acciones neumatolíticas. Los otros parecen debidos exclusivamente el metamorfismo regional, sin intervención de mineralizadores, pues sus elementos componentes son los mismos de los sedimentos en que yacen.

Fibrolita.—El mineral más abundante en Somosierra y acaso en toda la cordillera central tomada en conjunto, exceptuados, claro está, los elementos normales del neis y el granito. Se encuentra en todos los estratos, siendo a veces elemento accesorio del neis. La zona más rica en este mineral es la parte alta del término 2 y la baja del 3.

Granate (almandino y acaso grosularia).—Es abundante en todo el espesor de los términos 2 y 3, pero más en el 2.

Estaurolita.—Hay dos modalidades. Cristales muy negros, mates, maclados, a veces de gran tamaño, en las pizarras micáceas de la base del término 3. Cristales alargados, rara vez maclados, algo rojizos, mezclada con mica oscura y granates,

envolviendo a los cuarzos rubiginosos de la parte alta del término 3.

Otreilita.—También presenta dos tipos. La de las pizarras negras paleozoicas, brillante, en menudos cristales de sección cuadrada. La de las pizarras del término 3, en cristales a veces de más de un centímetro, mates, aplastados, de sección rectangular alargada-exagonal; esta es poco abundante.

Distena y Andalucita.—Sólo en el término 3, siendo la segunda más abundante que la primera.

III

MINERALES DE LA ZONA

Grafito.—Aparece con relativa abundancia en la mina «San Francisco», de Horcajuelo, presentándose en delgadas capas entre el cuarzo. También está citado en Bocigano, de donde existe un ejemplar en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid.

Galena.—De este mineral sólo he visto un trozo encontrado en una reguera de Bocigano. Lo que no se sabe es, si este ejemplar será rodado de la sierra o habrá sido traído accidentalmente de otra localidad.

Argentita.—Se encuentra en los filones de la mina «Perla», de Montejo, y en la de Horcajuelo «Los Astilleros».

Mispiquel.—Le hay en las minas de Horcajuelo; abundante en la de «San Francisco», y escaso en la de «Los Astilleros».

Pirita.—Se encuentra siempre en pequeños cristales, que no se distinguen en la generalidad de los casos sino con el auxilio de la lente. Se encuentra en algunos granitos, muy descompuesta; en la caliza del Puerto de Somosierra; en los filones metalíferos de cuarzo de La Aceveda y Horcajuelo;

en las minas de Montejo, forma masas de cristalitos; en las pizarras, cerca de La Puebla de la Mujer Muerta.

Pirargirita.—Se ha encontrado en las minas de Montejo, Horcajuelo, La Aceveda y Robregordo. De la primera localidad existen en el Museo de Ciencias Naturales dos buenos ejemplares recogidos por el Sr. Fernández Navarro.

Proustita.—En pequeña cantidad la he encontrado en el filón de «Los Astilleros». El Sr. Sánchez Lozano la ha citado en las minas de La Aceveda.

Hematites.—En pequeñas cantidades en un dique de micacitas en Somosierra y entre las pizarras de Peña la Cabra, en La Puebla.

Limonita.—Se ve en numerosos puntos, generalmente sin importancia, impregnando los cuarzos. Donde más abunda es en el pico El Pinyerro, en La Puebla, del que hay buenos ejemplares en el M. de C. N.

Diaspora.—Está citada en El Cardoso donde parece ser que forma masas de un negro verdoso, de fácil exfoliación. En el Museo Nacional de Ciencias, donde hay ejemplares de esta localidad, existe uno de Buitrago.

Casiterita.—Hay dos ejemplares de Buitrago en el Museo citado.

Rutilo.—Se encuentra en barras y en grupos de cristales (codo del rutilo), sobre los cuarzos que hay entre los neis y las micacitas, de los que se desprende viéndose los trozos sueltos. Se encuentra en la Mata de la Cabezada y en la cuesta de la Garita (Horcajuelo); en el camino del Aedo, al pasar el agua de La Cabezuela (El Cardoso); en el Chaparral de Piñuecar y en Madarcos, localidades en las que es relativamente abundante.

Cuarzo.—Es muy abundante en toda la comarca. Forma

filones, sobre los que se encuentran todas las minas de la región, y otras veces se ve en vetillas que cruzan, tanto al granito como al neis. Cristalizado se encuentra en muchos filones, pero casi siempre lechoso y de cristales no muy bien definidos; lo he visto hialino, en Robregordo (mina «La Esperanza»), en hermosos cristales, pero que su tamaño no pasa de dos centímetros; y en la ladera del cerro de Piñuecar; también en Montejo hay grandes cristales. Le hay ahumado en la Puebla y en Buitrago. Hay un ejemplar muy interesante en el Museo de Ciencias Naturales, que consiste en la terminación de un hermoso cristal hialino, en el cual hay numerosas inclusiones filiformes de rutilo. En La Aceveda, en el grupo más importante de minas, he recogido un cuarzo de color blanco lechoso, muy compacto, que forma una masa de superficie redondeada y que al partirlas se ve que forma zonas concéntricas más o menos blanquecinas. En algunas micacitas se le encuentra en nódulos. También se encuentra el cuarzo rubiginoso y ahumado, trasluciente, en El Cardoso, Paredes y en Montejo, camino de La Iruela. La mena de plata aparece en pintitas sobre el cuarzo blanco al que da un tono gris cuando está abundante. En el cerro de las Picayuelas se encuentra el cuarzo, muy blanco, formando lentejones entre las capas de micacita.

A los cuarzos sueltos que muchas veces cubren las tierras de labor, los naturales del país los llaman «gorrón».

Siderita.—No la he encontrado, pero hay un ejemplar, de Prádena, en el Museo de Ciencias Naturales.

Piroxenos.—Se encuentran constituyendo algunas rocas, como los neis piroxénicos de cerca de Puentes Viejas, en las que suele concentrarse en algunos puntos. También los hay en el cerro de Piñuecar y en el río de las Puentes.

Anfiboles.—Les sucede lo mismo que a los piroxenos, pero son más abundantes. Los hay en el cerro de Piñuecar. La *hiperstena* se encuentra en El Cardoso, habiendo en esta misma localidad, en El Zahurdón y en el molino de Jarama, un anfíbol verde. La *actinota* abunda en la Salega de los Hoyos (El Cardoso). La *horblenda* se encuentra en el Lomo de las Suertes y en el Llano de las Hoyas (El Cardoso) y forma rocas y masas; también la hay en Gandullas y en La Iruela, debiendo ser este mismo anfíbol el de color negro que se presenta en una veta de cuarzo de esta localidad. La *nefrita* o jade oriental está citada en Horcajuelo y Horcajo, pero esta cita debe referirse a la fibrolita, con cuyo mineral se ha confundido antiguamente el jade, especialmente en los instrumentos paleolíticos.

Andalucita.—Es muy abundante en esta región y forma agrupaciones bacilares e irregulares y cristales sueltos cuadrangulares, de un color rojo carne. En El Cardoso, de donde he visto en el Museo de Ciencias Naturales un ejemplar de color azulado, se encuentra en el molino de Jarama, en el Lomo de las Suertes, en cancho Bartolo y al pie de Costiniesta. También la hay, aunque muy escasa, en Montejo, Horcajuelo y Prádena del Rincón. En El Cardoso se encuentran cristales de la variedad *Quiastolita*.

Distena o Clanita.—También es muy abundante; forma láminas alargadas, exfoliables, sobre el neis o el cuarzo y su color varía del azul intenso al blanco amarillento. La hay en Montejo, La Iruela, Serrada, El Cardoso y Horcajuelo. También se encuentra en el Chaparral de Piñuecar. En el Museo de Madrid hay un hermoso ejemplar recogido en Somosierra, localidad en la que no le he encontrado. La *Retizita* (distena blanca) se encuentra en El Zahurdón, (El Cardoso).

Fibrolita.—Variedad fibrosa de la silimanita. Se presenta en nódulos sueltos, algunos de los cuales llegan a tener gran tamaño, como uno recientemente recogido en El Cardoso, cuyo peso es de unos 60 kgs. Su color es blanco, amarillento o azulado, con brillo de cera o sedoso. Es abundantísima por toda la zona, pero donde más se encuentra es en Piñuecar, Madarcos, Montejo, El Cardoso y Horcajuelo.

Feldspatos.—Son muy abundantes, puesto que forman parte de los granitos y neis; se encuentran también cristalizados, aunque con menos frecuencia. *Ortosa*, no le he visto en cristales bien determinados, mas que en unos blancos, muy pequeños y que forman masas en las pegmatitas de Montejo, pero es muy abundante sin formas precisas, por ser el que más comúnmente entra a constituir las rocas de la región, siendo su color blanco o sonrosado. *Microclina*: variedad que se encuentra formando masas blancuzcas en la Dehesa de Santuy, término de Bocigano. *Albita*: se encuentra en cristales pequeños de la variedad periclina, de color blanco lechoso, en el cerro de Piñuecar.

Micas.—También son abundantísimas por formar parte de los granitos, neis, micacitas y pegmatitas. *Biotita*: en muchos neis y granitos, y formando láminas de alguna consideración la hay en Robregordo. *Moscovita*: como la biotita, forma parte de las rocas, sobre todo las pegmatitas, y se encuentra en láminas más abundantes y de mayor tamaño en Paredes, Montejo, Horcajuelo, El Cardoso y La Aceveda; también se encuentra en las canteras del cerro de Piñuecar. *Lepidolita*: se encuentra abundante en Paredes de Buitrago y en Gandullas, en láminas que alcanzan tamaños hasta de 15 cm.

Clorita.—La he encontrado al pie de Costiniesta, en El Cardoso.

Turmalina.—Es bastante abundante y se encuentra formando agujas negras y gruesos cristales en el neis, sobre todo en los filones de cuarzo y de pegmatita. Como localidades donde más abunda, se pueden citar el camino de Somosierra a Sigüero, sobre pegmatitas, El Cardoso, cerro de Piñuecar, río de las Puentes (Gandullas), Buitrago, Montejo y Prádena.

Axinita.—En el cerro de Piñuecar hay típicos cristales de color canela que se ven bien con la lente, muy raros.

Estaurolita.—Se encuentran formando cristales sencillos y maclados en forma de cruz (cruz de San Andrés), de color negro. Los hay en la Guía del Valle, entre Montejo y La Iruela, en pizarras descompuestas. En El Cardoso, muy abundantes. En La Maleza (Montejo), de gran tamaño, algunos de los cuales pasan de 6 cm.

Granates.—La forma única observada es la de rombododecaedros, pero generalmente aparecen, aun los incluidos en la roca, en granos redondos, sin facetas reconocibles. Donde más abundan es en las micacitas, pero también se encuentran en algunos neis y pizarras. Los hay: en Bocigano; como mostacilla, en las micacitas del collado de La Iruela; en El Cardoso, en las pizarras de El Salteadero, en Costiniesta, y de gran tamaño en Lomo Quemado; también se encuentran en Montejo.

Cuando son de gran tamaño, sueltos y rodados, los naturales del país los llaman «bolas yerrizas».

Cordierita.—Se encuentra formando granos en el neis. La hay en El Cardoso, Bocigano, La Iruela y Montejo.

Otreilita.—Es de un color negro verdoso y se presenta en cristales tabulares en las pizarras y micacitas. En las primeras, la hay en La Puebla, y en las segundas, de gran tamaño, en La Iruela.

Baritina.—Se encuentra en El Agua de La Cabezuela, en El Cardoso.

IV

CLASIFICACION DE LOS CRIADEROS

De los filones de esta zona sólo se puede juzgar por lo que se observa en la superficie. De los trabajos subterráneos no se tienen más que someras noticias sobre la naturaleza de las rocas, tanto de las que forman la caja, como de las que constituyen el filón; y todos los estudios que hay sobre la comarca han sido publicados después de estar paradas las minas. Todo nos indica que los filones son filones-capas que siguen, generalmente, la estratificación de los neis, aunque en ocasiones cortan las capas y que además existe una serie de filones cruceros con los anteriores, sobre los cuales no se ha hecho ninguna labor de investigación; se desconoce, por lo tanto, si metalizan o no, aunque el aspecto exterior de algunos de ellos parece inducir a la afirmación.

La roca de caja es siempre el neis, pues aunque en La Aceveda aparezcan unos neis graníticos, éstos, más bien que formar la caja del filón, parecen constituir el filón mismo, siendo la dirección de este concordante con las capas neísicas que a derecha e izquierda del mismo aparecen.

Los filones en que se ha trabajado están sobre el neis de estructura pizarrosa y en las proximidades de los glandulares y cordieríticos. Su inclinación es muy grande, puesto que siempre pasa de los 70°, llegando en algunos puntos, como en la mina «La Deseada», a muy cerca de la vertical. Sus direcciones están comprendidas entre la máxima de N. 9° W. de la mina «San José» y la de N. 60° E. de «La Felicidad», ambas de La Aceveda.

La potencia de los filones varía entre medio y tres metros.

El relleno es de cuarzo, con pirita, platas rojas (pirargirita principalmente y prustita) y argirosa. A veces se encuentra escasa baritina y también suelen verse cristalizadas las platas rojas.

V

PARTE HISTORICA

Poco es lo que se sabe con verdadera certeza sobre los criaderos de esta región.

Las minas denunciadas han sido numerosísimas, pero sólo en los grupos de La Aceveda, Horcajuelo y Montejo se han realizado trabajos de relativa importancia.

En los alrededores de Cerezo de Arriba y de Riaza es donde han sido más numerosas las denuncias en la antigüedad, y sin embargo es la parte de la zona que ha sido menos trabajada.

La primera noticia sobre las denuncias en el término de Cerezo la obtengo del «Registro de Minas de la Corona de Castilla» y se refiere a una carta dada en 22 de febrero de 1585 para beneficiar dos minas «de plata, cobre y otros metales», en Río Seco y Las Hontanillas. Durante los tres años siguientes se conceden otras tres cartas, una para beneficiar una mina en La Huelga, otra para beneficiar otra de plata y cobre «cerca de una ermita que llamaban [de San Benito]» y la otra para otras cuatro. «y que ninguna era la que llamaban de Río Seco, que se había empezado a beneficiar». Al año siguiente se buscaba a los descubridores de la repetida mina de Río Seco para pagarles «mil ducados que S. M. mandó se les diese por que se separasen del derecho que a ella tenían», y en 1.º de julio de dicho año se mandaba entregar el dinero a «Juan Sanz y con-

sortes», todo lo cual prueba la, al menos relativa importancia, que en aquel tiempo tuvo esta mina. Todavía se concedía, por una cédula dada en agosto del mismo año, permiso para beneficiar «ciertas minas» más abajo de la anterior.

De todo esto parece deducirse que los trabajos realizados debieron tener alguna importancia, pero a partir de esta fecha se inicia la decadencia como se deduce de lo que sigue.

Hasta cincuenta y un años más tarde, en 1640, no se concede otra cédula otorgada para que beneficiasen una mina de «plata y otros metales» en Valsequillo, a media legua de Cerezo de Arriba. Se sucede otro período de 68 años sin que haya noticia alguna de haberse efectuado ni labores ni denuncias nuevas, y en 1709 se autoriza para «labrar» una mina «que se tenía por de plata», en Riaza, en el sitio llamado las Peñas del Nazar; diez años después se concede nuevo permiso para profundizar «en busca de un filón» también en Riaza, «cerca del camino que por la falda de la sierra va a Ntra. Sra. de Hontanares».

No se vuelven a tener noticias de esta parte, hasta el año 1880, puesto que sólo se sabe que en 1870 no existía ninguna concesión minera y que dos años después se concedía una de antimonio en el Puente de las Cabras (Cerezo de Arriba), que no se llegó a trabajar y que en 1880 caducaba.

En dicho año se concede una mina en El Soto, del mismo Cerezo, en la que se hizo un pozo de tres metros y medio, dió 600 quintales métricos de mena de cobre, y a los cuatro años caduca.

En el año 1883 se hicieron numerosas concesiones que llegaron a cerca de una veintena, pero todas ellas, en las que no se llegó a trabajar o poco menos, caducaron poco a poco, y hoy día no existe ninguna.

La cita más antigua que se conoce de las minas de La Aceveda y Robregordo se encuentra también en el anteriormente citado «Registro de Minas de la Corona de Castilla». En la página 210 de su primer tomo, se cita la concesión de una cédula de 1610 para que se pudieran «beneficiar dos minas de oro y plata en la sierra de La Aceveda».

En la página 29 de la curiosa obra de López Cancelada «Su empresa sobre minas de oro y plata en España», está citada una cédula de 10 de febrero de 1652, por la que se sabe se descubrieron «...otros minerales en el término de La Aceveda.—Uno do llaman la *Calera de la Villa*.—Otro do llaman los *Jamoncillos*.—Y otro junto al camino de los carros desde donde sube hasta el cerro de las *Cornetas*».

Hasta mediados del pasado siglo no se vuelve a saber nada de estos criaderos, y, en esta época se tiene noticia de haberse constituido una Sociedad titulada «Nueva Buena Dicha» que efectuó algunos trabajos de relativa consideración. Estos trabajos están detallados en un folleto firmado por G. Sabater, y en 1898 han sido vueltos a detallar en un interesante estudio hecho de estos criaderos por el Sr. Sánchez Lozano. En los trabajos realizados parece ser que la referida Sociedad desembolsó hasta 27.000 pesetas. Sin saberse las causas, la citada sociedad se hundió y no han sido vueltas a denunciar las minas hasta el mes de junio del año actual, sin que hasta la fecha se haya iniciado ninguna clase de labor, ni tengo noticias de que se piense en ello.

Las minas de Horcajuelo y Montejo también son conocidas de muy antiguo.

En la obra de Cancelada encuentro la cita más antigua, que se refiere a una cédula dada en 1625 para trabajar «...cuatro minas de *plata* con ley de *Oro* en el término de Montejo.—

Una en el cerro do llaman *Peña Quemada*.—*Otra* do llaman el *Lomo del Zapatero*.—*Otra* al lado del camino del Reccal hasta la Gasugera.—Y la *otra* do llaman la *Platera de la Dehesa*. En 1626 se concede otra cédula para beneficiar cuatro minas de las que una está fuera de esta zona, dos no están bien especificadas y la cuarta está «en el lugar de Montejo por encima del arroyo llamado de Don Benito».

Por último, en el «Registro de Minas de la Corona de Castilla» se cita una carta por la cual se autorizaba a beneficiar unas «minas de cristal que habían descubierto en Montejo». Es indudable que estas minas se encontrarían en alguno de los filones de cuarzo en los que metalizan las menas argentíferas.

Por referencias se sabe que las minas «San Francisco» y «La Deseada», sitas en El Frontal, término de Horcajuelo, fueron trabajadas a mediados del siglo pasado, sin conocerse durante cuanto tiempo, ni tampoco la causa de que cesaran los trabajos. Sólo se deduce por la gran cantidad de ruinas de edificaciones que existen y las considerables proporciones de las escombrosas, que dichos trabajos tuvieron importancia indudable, puesto que se llegó a construir un camino desde las minas a la carretera de Francia, cuya longitud pasará de 5 kms. Por desagües parciales efectuados recientemente, se sabe que el pozo más importante que pertenece a «San Francisco», alcanza 60 metros de profundidad.

Al mismo tiempo que los anteriores, parece ser que se efectuaron trabajos en el sitio denominado Los Astilleros, también término de Horcajuelo, y donde, según referencias, se construyó un socavón de unos 300 metros.

De las minas situadas en el sitio denominado La Argachuela, término de Montejo, tengo datos más ciertos. Hubo seis conce-

siones denominadas «La Concepción», «La Paloma», «Santa Clotilde», «La Perla», «La Asunción» y «Virgen del Carmen».

La que más importancia tuvo fué «La Perla». De esta mina he podido ver un plano en el que hay marcados cuatro niveles, dos muy importantes a 35 y 60 metros, cuyas galerías pasan de 400 y 250 m. respectivamente, y otros dos de menos importancia a 30 y 37 m. En el plano hay marcados cuatro pozos, el más profundo de los cuales llega a 65 m. en dicho plano, pero según referencias, su profundidad actual es de 106 m. Ha sido explotada por una sociedad francesa durante 21 años, comenzando los trabajos hacia el año 1880. Al comenzarlos, parece ser que se encontraron algunas labores sin importancia como tales, pero que sí la tienen histórica, pues estaban realizadas con punterola, sin que en su trabajo hubiera intervenido la pólvora, lo cual prueba que su antigüedad es aun más grande que la de la primera cita que se tiene de ellas.

Parece ser que la administración de esta mina era deplorable y ésta fué la causa de que cesaran los trabajos. Poco después de haber sido cerrada, otra empresa, inglesa, la desaguó, pero no realizó más trabajos, sin que se conozcan las causas de ello.

En 1872 se constituyó en Madrid una Sociedad con el nombre de «Virgen del Carmen», para explotar e investigar la concesión del mismo nombre. Esta empresa emitió doscientas acciones de cien pesetas, pero sospecho que no llegaron a cubrirse ni con mucho, pues he visto la acción número 102 sin extender.

Tanto estas minas, como las de Horcajuelo, se encuentran denunciadas en la actualidad, aunque no se trabaja, ni se piensa, al menos por el momento, intentar nada.

Por último, Cancelada cita en su mencionada obra una real

cédula dada en 1.º de Agosto de 1626, que dice que «en el término de la villa de Cardoso, do llaman el *Cerezo*, hay varios minerales de *Oro y plata*: los benefició Luis de Arbien, vecino de Buytrago». Es muy posible que esta mina coincida con una muy renombrada de todos los serranos de esta zona, y de la que no se conoce nada relativo a los trabajos en ella realizados, de los que sólo queda la entrada de un socavón. Esta mina es conocida por el nombre de «La Poderosa» y está situada en el término de El Cardoso de la Sierra.

Me ha sido imposible hacer coincidir las citas antiguas con los restos, bastante numerosos, de labores que hay por toda la región. Los más conocidos de éstos son los que hay al N. de la Mata de la Cabezada de Horcajuelo, a media ladera; los dos socavones de Madarcos, uno en el mismo camino de Montejo a Buitrago, cerca de La Nava y el otro algo más al W., junto al río de las Puentes; los dos situados en el Tercio, por encima del collado de Jarama en Montejo; los que hay en Prádena, camino de Berzosa; otro socavón y pozo situados por encima del Prado Chico, en Horcajuelo, etc., etc.

IV

CONCLUSIONES

A confirmar mis deducciones finales vienen los trabajos que hay, tanto sobre esta región, como sobre la de Hiendelaencina.

D. Casiano de Prado, al tratar de los filones en esta clase de terrenos en la provincia de Madrid, afirma que a los filones más ricos de Hiendelaencina pueden referirse algunos de los de La Aceveda, Horcajo y Horcajuelo, y a los de La Bodera, filones estrechos y ricos, entre otros algunos de La Aceveda,

Montejo y Horcajuelo, aunque luego dice que «... el mineral, sobre ser muy escaso, no ofrece la misma riqueza en plata y esto cuando la contiene».

El Sr. Castel, al describir la provincia de Guadalajara, dice, que el carácter notable de los neis de Hiendelaencina y La Bodera y que «casi no se observa en El Cardoso es el de abundantes nódulos de feldespato». Pero ya he citado anteriormente los puntos en que aparece el neis nodular, y vemos que lo que antecede no es del todo cierto. Además que él mismo se contradice, puesto que más adelante escribe: «Los nódulos feldespáticos se presentan en el neis en Cerro Cebollero y cerca de Hiendelaencina...» «... lo que demuestra que en estos puntos se ha sentido más la acción del metamorfismo», con lo cual se ve que él mismo admite la semejanza de las dos zonas, Hiendelaencina y Somosierra.

También afirma que existen las micacitas en Hiendelaencina, a las que da el nombre de pizarras micáceas «por afectar una forma claramente hojosa»; pero esto mismo es lo que les sucede a muchas de las micacitas que he descrito como tales. Y, últimamente, da una semejanza de ambas zonas al citar en las proximidades de Angón «la existencia de algunas capas de micacitas sin cuarzo de color verde oscuro y completamente cuajadas de granates» que son en un todo idénticas a las que se cruzan caminando de Montejo a La Iruela.

El Sr. Sánchez Lozano también hace observar que el neis nodular con grandes cristales de feldespato, que es, según él, una roca, por decirlo así, peculiar de Hiendelaencina, se presenta igualmente en La Aceveda y en Robregordo.

Al tratar en 1905 de la forma en que marchan los criaderos de Hiendelaencina, D. Enrique Naranjo hace una descripción que pudiéramos sin ninguna dificultad aplicar a los de esta

zona de Somosierra, igualmente que siete años después afirmaba el Sr. Guardiola en una serie de trabajos publicados en la Revista Minera y recopilados después en un folleto.

Por último, en notas inéditas del Sr. Fernández Navarro, encuentro varias veces la afirmación de la semejanza de ambas zonas. En una de ellas, en 1914, dice: «en la confluencia del Barbellido con el Jarama se encuentra el neis de cordierita que es un poco glandular (glándulas pequeñas) y con nódulos de cuarzo. Este material que parece alcanzar bastante extensión, representa sin duda un nivel inferior a los neis y micacitas ricos en minerales. Tal vez un nivel muy próximo al de los neis de cordierita de Hiendelaencina».

De todo lo anterior y de mis observaciones personales, he sacado la afirmación de que esta zona argentífera es muy semejante a la de Hiendelaencina.

Los criaderos se presentan en el estrato cristalino, que forma una sola mancha separada de la de Hiendelaencina por el siluriano con el que concuerda, y que, como ya he dicho anteriormente, el estrato-cristalino y siluriano deben formar un todo, encontrándose los materiales más metamorfizados a medida que se profundiza.

Es más, deduzco que el mismo nivel de neis es el que sirve de caja a los criaderos en las dos zonas. Parece ser que en Hiendelaencina es el horizonte del neis cordierítico donde arman las partes metalizadas de los filones; en Somosierra, los trabajos mineros figuraban en el horizonte inmediatamente superior, pero muy en las proximidades de aquél, y donde se ha profundizado algo más se ha llegado enseguida a las partes ricas, situadas en dicho material.

De todos es conocida la irregularidad con que se encuentra repartida la riqueza en esta clase de filones. Por esta razón,

una sociedad que disponga de un capital reducido, siempre tendrá la seguridad casi completa de fracasar en trabajos mineros de una zona como la que me ocupa, aunque los criaderos sean francamente explotables.

En Somosierra, los trabajos efectuados han sido de poca importancia, pues la máxima profundidad alcanzada fué en la mina «Perla» de Prádena, en la que se llegó a 106 m.; también es cierto que según los datos que poseo es la mina que más producto dió.

Pero ¿qué son esos 106 m. con las profundidades superiores a 700 alcanzadas en Hiendelaencina? Y como en las otras minas son todavía menores las profundidades alcanzadas y de menor importancia los trabajos realizados, puede asegurarse que esta región está completamente virgen.

Tomando a Robregordo como punto más accesible desde los grupos de La Aceveda y Montejo, su distancia por carretera a Segovia y a Aranda de Duero, estaciones de ferrocarril las más próximas, es de 65 kms. y de 90 a Madrid, distancias hoy en día reducidas con el transporte automóvil.

En Somosierra la mano de obra es económica, puesto que los naturales no se dedican a otros trabajos que a las faenas del campo, el cual es bien poco feraz. Las maderas, roble principalmente, son abundantes y de difícil salida, con lo cual la entibación resultaría a poco coste, y eso donde fuera necesaria. Y, por último, bien aprovechada la energía del Jarama y, en caso necesario la de los numerosos arroyos, podría obtenerse una cantidad suficiente de fuerza motriz.

Las minas «San Francisco» y «La Deseada», de Horcajuelo, podrían ponerse fácilmente en comunicación con la carretera general por medio de un antiguo camino que fué construido para su explotación anterior, y que se pondría en servicio rápida y económicamente.

Tampoco sería obra muy costosa la construcción de un buen camino desde las minas de La Aceveda a Robregordo. En la actualidad se está construyendo una carreterita que ha de unir a Montejo con la de Francia y que pasa por el grupo de minas de La Argachuela.

En resumen, y de acuerdo con lo que ya en 1898 decía el Sr. Sánchez Lozano refiriéndose a las minas de La Aceveda solamente, esta zona está en condiciones y merece que se realicen en ella profundos y ordenados trabajos de investigación que pongan de manifiesto una importante riqueza argentífera que indudablemente existe.

VII

BIBLIOGRAFÍA

- 1831.—*Su empresa sobre minas de oro y plata en España.*—J. López Cancelada.
- 1832.—*Registro de minas de la Corona de Castilla.*—(Dos tomos.)
- 1864.—*Descripción física y geológica de la provincia de Madrid.*—D. Casiano de Prado.
- 1878.—*Memoria geológica-minera de las comarcas de Hiendelaencina y La Nava de Jadraque.*—(Manuscrito).
- 1882.—*Descripción geológica de la provincia de Guadalajara.* D. Carlos Castel. (T. VIII. *Bol. Ins. Geol.*, págs. 157-264.)
- 1891.—*Descripción física y geológica de la provincia de Segovia.*—D. Daniel de Cortazar. (T. XVII. *Bol. Inst. Geol.*)
- 1898.—*Nota sobre algunos criaderos argentíferos de los términos de La Aceveda y Robregordo, en la provincia de Madrid.*—D. Rafael Sánchez Lozano. (T. XXIII. *Bol. Inst. Geol.*, páginas 151-166.)

1900.—*Observaciones sobre el terreno arcaico de la provincia de Guadalajara.*—D. Lucas Fernández Navarro. (Mem. de la Soc. Esp. de Hist. Nat. T. XXIX de los *Anales*, págs. 95-123.)

1905.—*Estudios geológicos-mineros del distrito de Guadalajara.*—D. Enrique Naranjo. (T. XXIX. *Bol. de la Com. del M. Geol.*)

1908.—*Reseña física y geológica de la parte N.O. de la provincia de Guadalajara.*—D. Pedro Palacios. (*Bol. Inst. Geol.* T. VI, págs. 321-352.)

1912.—*El Instituto Geológico como auxiliar de la industria minera.*—D. Ricardo Guardiola. (Folleto de 66 págs. recopilación de los artículos publicados en los números del 8, 16 y 24 de febrero, y 8, 16 y 24 de mayo de 1912.)

1924.—*Estaurolitas de Somosierra.*—José Arias de Olavarieta. Madrid.

. *Folleto sobre las minas de Robregordo y La Aceveda.*—D. G. Sabater.

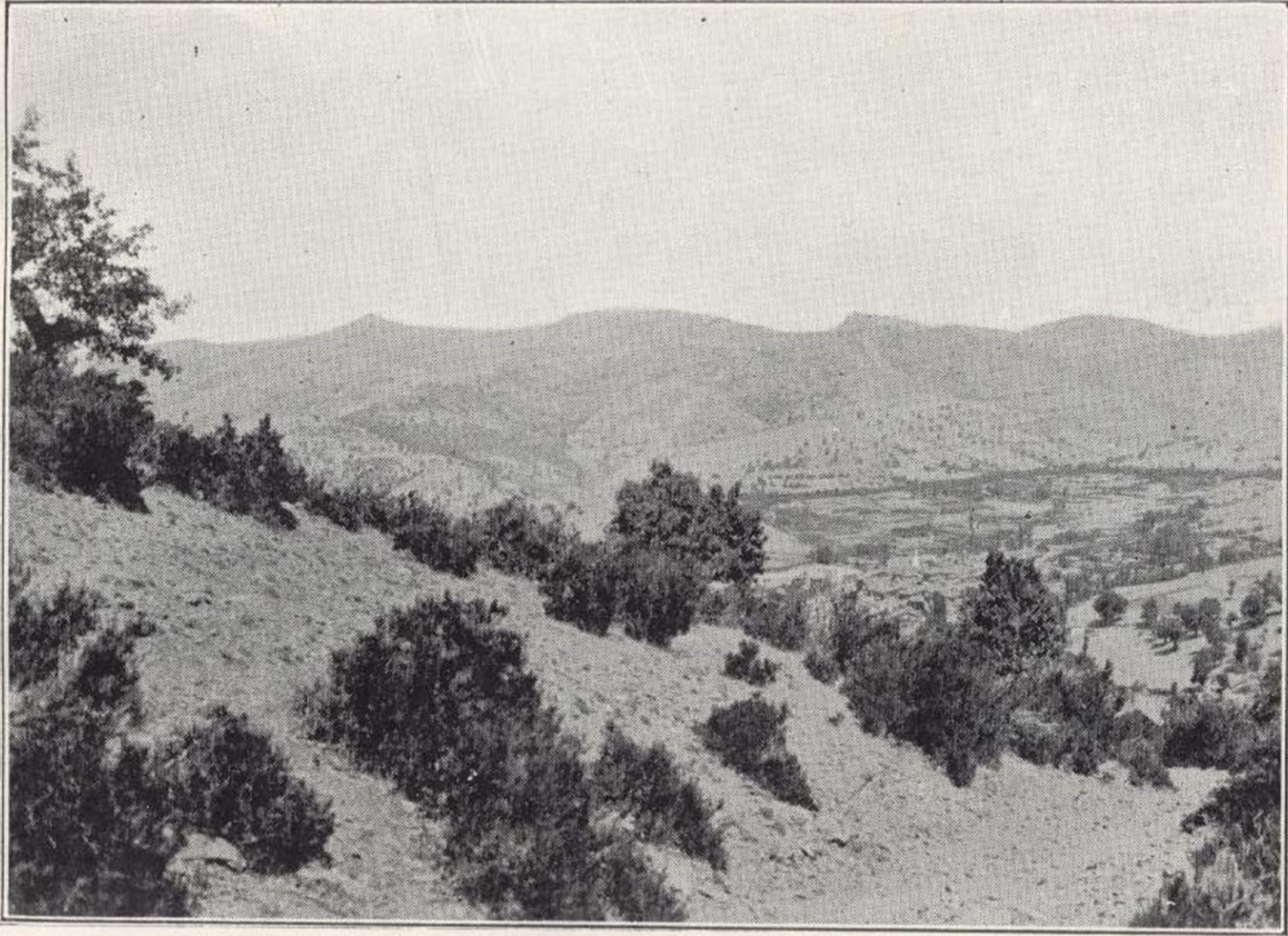


Fig. 1.—La Puebla de la Mujer Muerta.—Al fondo, sierra siluriana.



Fig. 2.—Camino de Robledillo de la Jara a la Puebla.—Cumbre de Peña la Cabra, de pizarras silurianas.



Fig. 1.—Colmenar de la Sierra —Al fondo la cumbre de San Cristóbal, anticlinal en cuarcitas silurianas

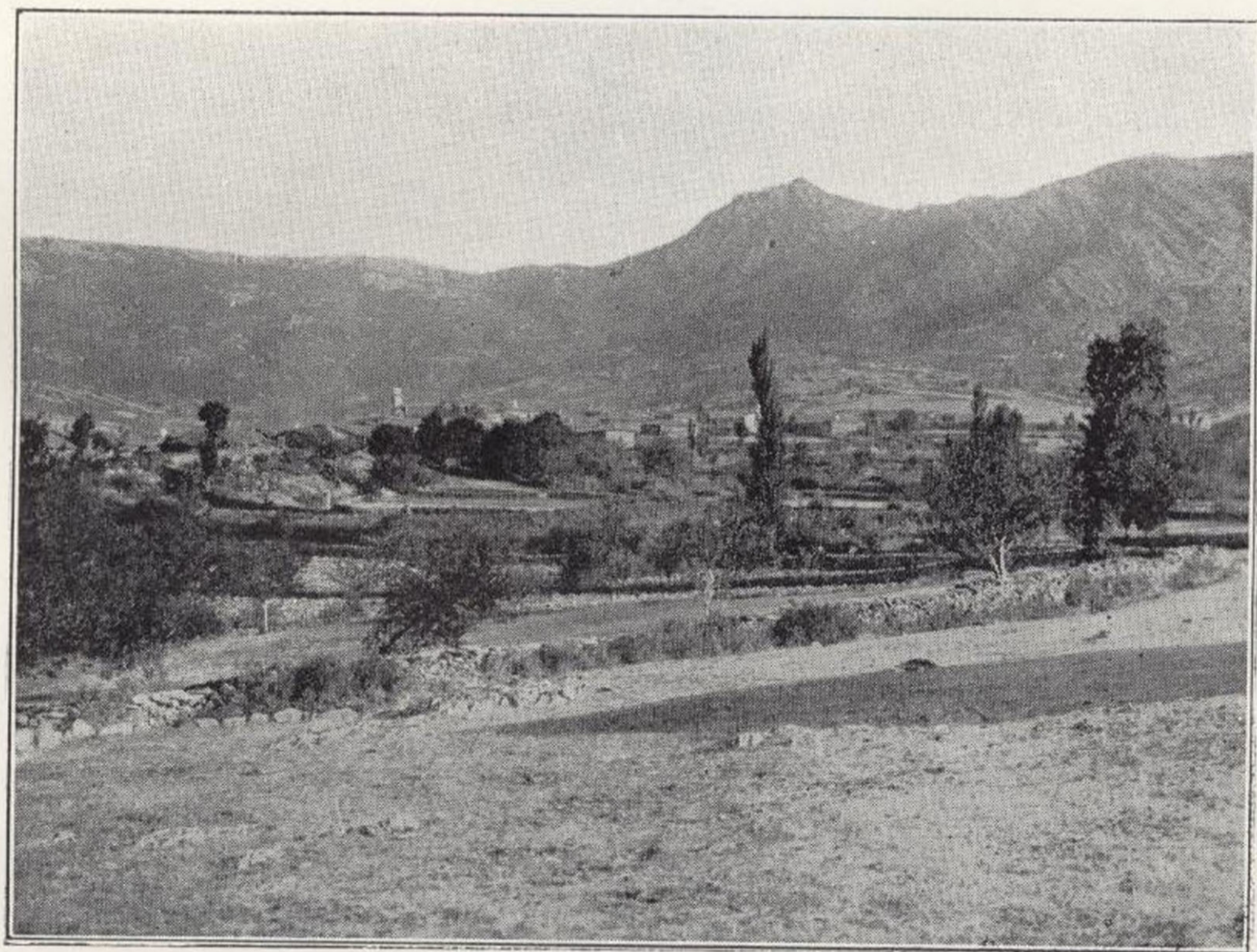
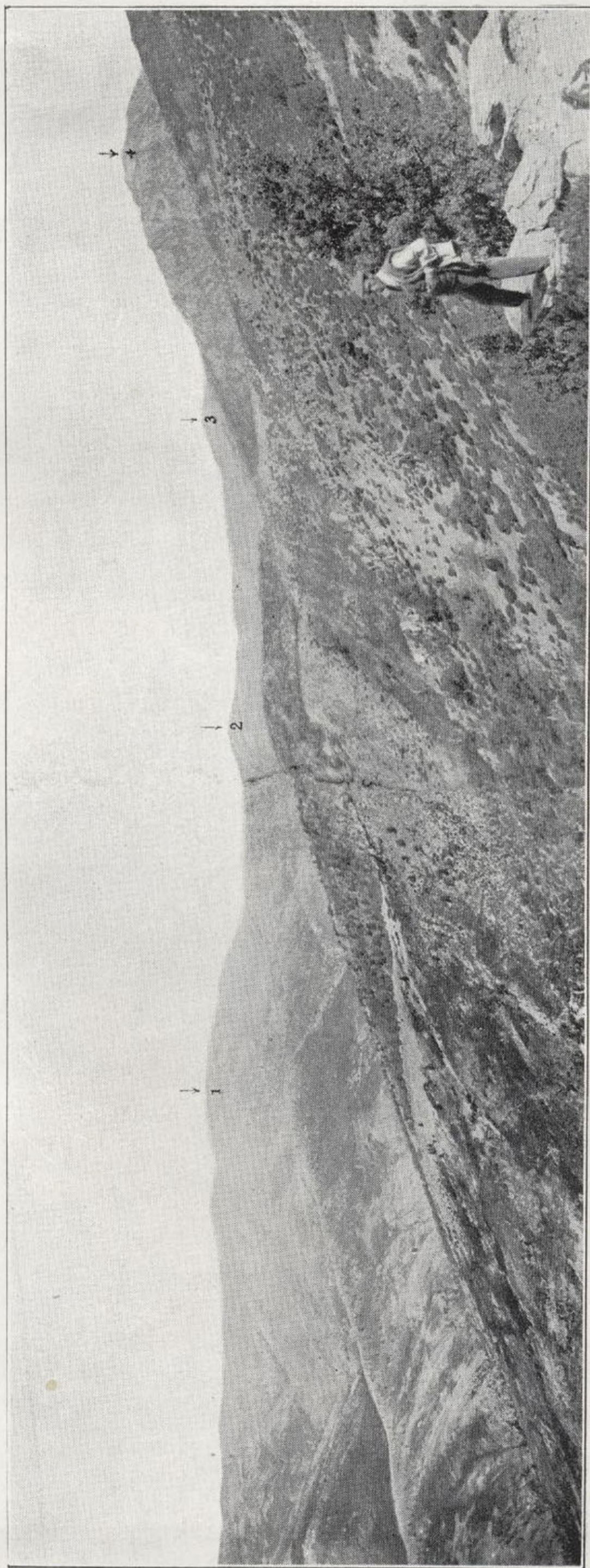


Fig. 2.—El Cardoso de la Sierra.—Cerros neísicos.



Cumbres de la cabecera del Jarama.—1. La Cebollera; neis glandular.—2. La Atalaya de las Excomuniones; neis.—3. Morra del Ceurinal; mica-citas.—4. Costiniesta; cuarcitas.



ESTUDIO
DE LOS
YACIMIENTOS DE AZUFRE
DE LAS PROVINCIAS DE MURCIA Y ALBACETE
POR
JOSE MESEGUER PARDO
INGENIERO DE MINAS



ESTUDIO
DE LOS
YACIMIENTOS DE AZUFRE
DE LAS
PROVINCIAS DE MURCIA Y ALBACETE

§ I.—El azufre. Historia; formación del azufre sedimentario.

El azufre es un elemento conocido desde los tiempos más remotos; la propiedad que posee de arder con llama azulada sin dejar residuo, debió desde el principio llamar la atención hacia él. Fué empleado por algunos pueblos en sus ceremonias religiosas; en la Biblia aparece citado varias veces, y Homero, 900 años antes de J. C., ya indicaba el uso que de él se hacía como medicamento y para fumigaciones.

Geber, hacia el año 800, llegó a considerarlo como uno de los componentes de los metales, y en la Era de la Alquimia se le creyó uno de los primeros elementos de la materia, dándosele la denominación de «piedra de fuego» por su combustibilidad. En el siglo XII, Alberto el Magno indicó la existencia del azufre amorfo y hacia 1456 fué citada por primera vez la flor de azufre por Basilio Valentín.

En el siglo XVIII, Rouelle, maestro de Lavoisier, dió a conocer el azufre prismático, y durante la época del flogisto,

llegó a creerse que constituía una combinación de ese elemento con un ácido, hasta que por fin, Lavoisier reconoció que se trataba de un cuerpo simple, haciéndose bien pronto general esta creencia.

El azufre desempeña un papel importante en la geología de nuestro globo, porque no obstante su exigua proporción en la masa total de éste (1), forma con los metales ciertas combinaciones que se prestan a concentraciones notables en los filones o en las fumarolas, y al investigar su emplazamiento natural en la corteza terrestre, han podido comprobarse dos hechos dignos de fijar la atención: la *constancia* de su existencia en profundidad y la *escasez* en la superficie donde sólo aparece por accidente o teniendo como origen las rocas y los filones.

De dos maneras diferentes se presenta en estado nativo:

a) En las *solfataras* o depósitos formados a *flor de tierra* por la combinación de los gases que aún emanan de los cráteres apagados.

b) En las *solfaras* o *azufreras* constituidas por estratos *subterráneos* de caliza, generalmente terciaria, impregnada de azufre.

Estos últimos yacimientos son los verdaderamente importantes y de ellos se obtiene en la actualidad el elemento que consideramos. El azufre que procede de las solfataras es sin duda un producto de sublimación, mientras que el de las solfaras aparece como resultado de un proceso complicado al que vamos a circunscribir nuestro estudio.

Las diversas manifestaciones de la energía, tienden en nuestro globo hacia un equilibrio imposible de ser alcanzado,

(1) Según los trabajos de F.-W. Clarke, la cantidad de azufre es de 0,11 por 100 en la litosfera (93 por 100 de la corteza terrestre), y 0,09 por 100 en la hidrosfera (7 por 100).

y de este modo, el trabajo mecánico, químico y orgánico, origina una singular clasificación de ciertos elementos, dispersos al principio, preparando los caminos de la industria humana.

De manera idéntica a como sucede en los talleres de preparación mecánica de las menas, las sustancias insolubles quedan separadas por la desigualdad existente entre la densidad y la dureza, y los elementos disueltos, se separan también por precipitaciones debidas a acciones independientes. Así, en vez de los silicatos complejos que formaron en los tiempos primitivos la composición media de las rocas terrestres, se encuentra hoy sílice libre, alúmina, óxido férrico, carbonato, sulfato y fosfato cálcicos y cloruros alcalinos, concentrados en capas diferentes. Este trabajo no cesa nunca y en tanto se hallen asociados elementos de propiedades diferentes, surgirá alguna fuerza nueva que tienda a aislarlos.

En la periferia de las rocas básicas, se observan en ciertos casos grandes concentraciones de sulfuros metálicos que han cristalizado en condiciones análogas a las de los lacolitos graníticos, según De Launay (1), sin necesidad de que exista una relación íntima entre los minerales y las rocas, como ha sido supuesto especialmente por los geólogos noruegos y alemanes.

Estas masas enormes de sulfuros metálicos, que sin duda formaban parte de las antiguas cadenas de montañas, debieron sufrir una oxidación intensa como consecuencia de la destrucción de aquéllas, y de este modo, se formaron sulfatos, que disueltos por las aguas superficiales, fueron arrastrados por ellas hasta quedar depositados en el mar.

Los trabajos llevados a cabo en el Elba, pueden servir de

(1) *Traité de Métallogénie*, t. 1.º, p. 326.

ejemplo sobre la naturaleza y cantidad de las substancias arrebatadas a la tierra por disolución. Durante el año 1887, arrastró el citado río 754.000 toneladas de substancias disueltas (1) que comprendían:

CaO	66.000	toneladas.
MgO	49.000	»
K ² O	36.500	»
Na ² O	69.600	»
Cl	83.000	»
H ² SO ⁴	120.000	»

Cuyas cifras son suficientes para poder formar una idea clara de los elementos que constantemente son recogidos por el mar. En particular, llegan a éste cada año según Murray (2) 900 millones de toneladas de calcio, que quedan en disolución, bien por el anhídrido carbónico o por el ácido sulfúrico que procede, como acaba de indicarse, de las piritas disueltas por las erosiones desde la consolidación del globo.

He aquí la composición química media de un litro de agua del océano, según Dittmar (3):

H ² O	989,7073
NaCl	28,9980
MgCl ²	4,0568
MgSO ⁴	1,7665
CaSO ⁴	1,3425
K ² SO ⁴	0,9193
CaCO ³	0,1287
MgBr ²	0,0809

El principal de los sulfatos contenidos—el de calcio—suficientemente soluble para haber quedado disuelto, tiene

(1) Rinne. *Etude pratique des roches*, 2.^a ed., p. 637.

(2) Nature, 12 Junio 1890.

(3) Murray & Irvine —On coral Reefs and other carbonate of Lime formation on Modern Seas— *Proc. of Roy. Soc. Edim.*, vol. XVII, p. 102.

al propio tiempo la insolubilidad necesaria para quedar precipitado en ciertas condiciones y merced a estas propiedades, antagónicas en cierto modo, han podido originarse yacimientos de yeso de los cuales se derivan a su vez los de *azufre sedimentario*, como veremos oportunamente.

Cuando el agua del mar por el concurso de circunstancias especiales, se halla sometida a una evaporación intensa, sin que nuevos accesos puedan compensar las pérdidas, se concibe que vaya abandonando las substancias que contiene en disolución, en orden inverso al de solubilidad de aquéllas.

Considerado el problema únicamente desde el punto de vista químico, puede encontrarse con facilidad la solución, gracias a una experiencia sencilla realizada por Usiglio, que consiste en la evaporación de una cierta cantidad de agua del mar, observando el orden en que se depositan las substancias precipitadas. Los resultados obtenidos, que sólo constituyen, naturalmente, una primera aproximación, evidencian la precipitación en primer término, de un producto constituido por carbonato cálcico asociado a indicios de estronciana, sesquióxido de hierro hidratado y un poco de manganeso. Cuando una capa de agua, que puede suponerse de un metro de espesor, continúa evaporándose, no abandona ningún cuerpo nuevo hasta que aquél desciende a 0,20 m. Comienza entonces un abundante precipitado de yeso idéntico al de los terrenos geológicos, que persiste hasta que dicho espesor queda reducido a 0,12 m. Sigue después una detención de la precipitación hasta que el espesor es de 0,10 m. y entonces empieza a depositarse la sal gema. La diferencia existente entre ambas fases es tan marcada, que se aprovecha en las salinas haciendo pasar el agua que ha abandonado el yeso en la cuenca general, a departamentos especiales donde se obtiene la sal pura.

Cuando el agua sólo tiene 0,05 m., la sal se vuelve amarga por precipitarse con ella el sulfato de magnesio; con 0,02 m. se deposita la carnalita, y queda por último un agua madre que contiene cloruro magnésico y ácido bórico, la cual no llega a desecarse ni aun en las regiones más cálidas del globo (1).

Los fenómenos que en realidad tienen lugar, son desde luego bastante más complicados de lo que pudiera suponerse a primera vista. Continuando en el terreno de la química, el depósito de las sustancias disueltas se efectúa en determinadas condiciones estudiadas con detenimiento por Van't Hoff (2) y Meyerhoffer, los cuales, aplicando las leyes de la química física, han llegado a resultados cuya conclusión práctica es prever, teniendo en cuenta la temperatura y la composición de una mezcla salina compleja, el orden de sucesión de los precipitados o inversamente (lo que para la geología es muy interesante) partiendo de estos últimos, deducir la naturaleza de la disolución primitiva y las condiciones de precipitación.

Si se tiene en cuenta, por otra parte, que las condiciones de temperatura y velocidad con que se opera en los laboratorios, no son sin duda exactamente idénticas a las de una evaporación natural, se ve la necesidad de examinar la intervención de fenómenos de orden geológico.

La teoría clásica imaginada por Bischof y desarrollada por Ochsenius (3) admite que los sulfatos y cloruros se han precipitado en lagunas o cuencas marinas que reciben escasa cantidad de agua dulce, separadas del verdadero mar por una

(1) De Launay, ob. cit., t. I.º, p. 223.

(2) *Zur Bildung der oceanischen Salzablagerungen*, I (1905).

(3) *Die Bildung der Steinlazzlager und ihrer Mutterlangensalze* (1877).

barra, la cual alzándose hasta muy cerca de la superficie del agua, dificulta o impide las comunicaciones. A consecuencia de la evaporación, aumenta la densidad del agua, la cual cargada de sales desciende al fondo ocasionando la muerte de los organismos, y cuando la concentración es suficiente, comienza la precipitación del yeso al que siguen la sal y los otros elementos. Gracias a la evaporación continua y a las nuevas cantidades de agua que procedentes del mar afluyen en la cuenca, se prosigue el fenómeno indefinidamente y las capas que van depositándose acaban por llenarla hasta la altura de la barra. Así se obtiene una formación salina cuyo espesor es infinitamente mayor que el que corresponde a la altura inicial del agua.

Como tipo de cuenca, se cita entre otros el famoso golfo de Kara-Boghaz, que extendiéndose más de 16.000 km.² al E. del mar Caspio, se halla unido a él por un canal de 4 km. de longitud, 200 a 800 m. de anchura y menos de un metro de profundidad a la entrada. La concentración de las aguas hace imposible la vida de los organismos y algunos peces que llegan a ellas arrastrados por la corriente, quedan ciegos en un período de cinco días (1). Se calcula en más de 340.000 toneladas la cantidad de sal producida en un año.

Esta bella teoría, ha quedado destruída por las observaciones de Androussow (2) que estudiando de nuevo el Kara-Boghaz ha demostrado la ausencia de depósitos salinos en el fondo, aunque sí existe realmente, tanto en la superficie como en profundidad, una corriente que lleva en todo tiempo a dicho golfo el agua del mar Caspio. En ninguna de las cuencas

(1) Reclús, *L'Asie Russe*, p. 422.

(2) *Der Atschi-Darja oder Karabugas Busen Petermi. Mitt. XLIII* (1897) p. 25-34.

geológicas salinas, ha podido ponerse de manifiesto la sucesión de los fenómenos que supone la teoría de Ochsenius, ni se han evidenciado tampoco *barras* que respondan a las necesidades exigidas por aquélla (1). Por el contrario, y como ha hecho observar Walther (2) el régimen de la mayoría de las cuencas es precisamente inverso del supuesto por Ochsenius, pues como los ríos llevan a aquéllas su agua dulce, sólo queda salada la del fondo de dichas cuencas y se establece una corriente que va de ellas al mar, haciendo imposible la concentración de las aguas y por lo tanto, la precipitación de las sales.

Así ha sido necesario acudir como condición esencial, a la existencia de un clima desertérico con aflujo de aguas ligeramente saladas en una laguna cerrada. Este hecho puede ser observado actualmente en los *chotts* y *sebkhats* de Túnez y Argelia, y en diversos lagos asiáticos.

En todo caso, es preciso suponer también una profundización progresiva de las cuencas de concentración, ya se hallen en los continentes o bien estén unidas al mar. Desde luego, dichas cuencas han debido quedar aisladas merced a un fenómeno orogénico previo, del que ha resultado la concentración, y las zonas deprimidas tienden a hundirse más y más, como lo demuestra la observación de determinados depósitos litorales o lacustres.

De todas suertes, es de interés primordial el estudio de los fósiles que acompañan a las formaciones salinas, pues en cada caso particular, pueden proporcionar una idea cabal de la fauna y la flora vivientes en los contornos de la cuenca de

(1) Haug, *Traité de Geologie*, 2.^a ed., t. I.^o, p. 100.

(2) *Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit* (1900).

evaporación, los cuales son capaces de dar a su vez una noción exacta sobre la existencia de condiciones desérticas o de comunicaciones con el mar.

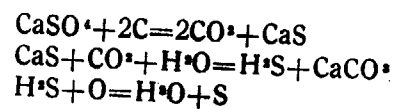
Sea cual fuere su origen, los sedimentos formados en el seno del agua, son susceptibles de sufrir modificaciones diversas, que comenzando inmediatamente después del depósito, entrañan la intervención de actividades orgánicas especiales y se continúan a través de las diferentes vicisitudes tectónicas. Esta *diagénesis* que ofrece la particularidad de verificarse en depósitos recién formados y recubiertos generalmente por las aguas, puede adoptar caracteres distintos según se consideren las grandes profundidades marinas donde la acción del anhídrido carbónico y del oxígeno del aire es insignificante por la escasez de estos elementos en tales sitios, o se trate en cambio de zonas litorales sometidas a exundaciones momentáneas, o de regiones lacustres donde abundan tanto el oxígeno como el anhídrido carbónico, que constituyen, como es sabido, los principales elementos de disolución y reprecipitación.

Los organismos vivientes, han desempeñado en la constitución de los terrenos geológicos, un papel bastante más transcendental de lo que se ha creído generalmente. Con entera independencia de la fijación durante la vida de un determinado número de principios, que son desde luego indispensables para su desarrollo, las células orgánicas tienen la propiedad de concentrar, fijándolos, determinados elementos químicos.

Es interesante observar con respecto a la acción constructora de los seres organizados, que las masas más importantes se deben precisamente a los organismos más pequeños y de estructura más rudimentaria. La actividad de éstos, que emplea los agentes físicos y químicos, se lleva a cabo gracias a deter-

minadas reacciones que han permanecido obscuras y deben examinarse separadamente.

Es indudable la intervención directa de los seres organizados en la formación del azufre sedimentario. Prescindiendo de la acción de aquéllos, se ha pretendido que la presencia del azufre en los estratos era debida a la reducción de los yesos por materias hidrocarburadas, betunes o lignitos y de un modo general por la materia orgánica, como indican las siguientes reacciones:



Es decir, que la materia orgánica reduce el yeso dando lugar a sulfuro cálcico que descompuesto a su vez por el anhídrido carbónico y el oxígeno, origina la formación de azufre libre y carbonato cálcico.

La mejor prueba de que esta teoría sencilla, como alguna otra también de índole química, carecen de fundamento serio, estriba en que hasta ahora han sido hartamente discutidas sin que los distintos autores hayan podido ponerse de acuerdo (1) y como además, las diferentes reacciones en que se apoyan no han sido comprobadas experimentalmente (2), ha quedado muy dudosa su certeza.

Proviene la incertidumbre de la imposibilidad de explicar en la actualidad la génesis del azufre sedimentario con la única intervención de los agentes químicos. Así lo ha recono-

(1) Artini, *Lezioni de Mineralogia e Materiali da costruzione* (1920), p. 243.

(2) Harvey Emmons, *The Principles of Economic Geology*, 3.ª imp., p. 570.

cido Hunt (1) hace poco tiempo, quien muy de acuerdo con los conocimientos modernos, ha atribuido la formación del azufre a la reducción del yeso por ciertas bacterias anaerobias que consumen sulfato cálcico poniendo en libertad el ácido sulfhídrico, el cual, por oxidación, da lugar a la producción de azufre libre.

Examinemos en primer término la producción de ácido sulfhídrico. Como ha hecho ver la experiencia, es general la presencia de este gas — originado por la influencia de los microorganismos— en todos los fenómenos de putrefacción, sobre todo por vía anaerobia, y determinados microbios (*Proteus vulgaris*, *Micrococcus prodigiosus*, *Bacillus acidi lactici*, etc.), le producen en todo caso. No es de extrañar, por lo tanto, que se encuentre el ácido sulfhídrico con cierta preferencia, tanto en las marismas de los trópicos (donde resulta de la putrefacción de las sustancias orgánicas) como en el mismo océano, según han comprobado Gmelin y Murray a 40 km. por delante de la desembocadura de los grandes ríos, los cuales, en los climas cálidos, llegan al mar cargados de sustancias orgánicas. También se ha observado su presencia en los fangos marinos y en algunos lagos que rodean ciertos mares, siendo sobre todo digno de mención el mar Negro.

Este mar, conocido sobre todo por los trabajos de los hidrógrafos rusos Woeikoff (2), Spindler y Wrangell (3), está cerrado casi completamente, pues como es sabido, sólo comunica con el Mediterráneo por el intermedio del mar de Mármara. Aunque el clima de las regiones que le circundan

(1) The Origin of Sulphur Deposits in Sicily, *Econ. Geol.*, volumen 10 (1915), p. 543-579.

(2) *Die Tiefseeforschungen im Schwarzen Meer* p. 31-37.

(3) Materiales para la hidrología del mar Negro y el de Azow. (En ruso con resumen en francés.)

es seco, sus aguas tienen una pequeña proporción de sal porque los ríos vierten en él cantidades considerables de agua dulce. De aquí resulta la existencia de una corriente de agua salobre dirigida desde el Danubio al Bósforo y otra de agua salada que va desde éste hacia Batum. La profundidad es variable, llegando a exceder de 3.000 m. entre Crimea y el Asia Menor, y aunque la vida física es bastante activa en la superficie, va desapareciendo a medida que se profundiza y llega a faltar por completo en el fondo. Esta ausencia de vida en la zona abisal, está relacionada por una parte con el estancamiento de las aguas profundas, relativamente muy saladas, y es debida así mismo y muy principalmente a la presencia del ácido sulfhídrico.

A 150 m. de profundidad, el agua tiene el olor característico de este gas; a 400 m., la gran cantidad que de él existe, hace ya imposible, como decimos, la vida de los organismos, y a 2.166 m., ha encontrado Thoulet que un litro de agua contiene 6,55 cm.³, cuya proporción fuera de toda normalidad continúa aumentando progresivamente hasta llegar al fondo. En él tiene lugar la producción de ácido sulfhídrico gracias a determinados microbios (*Bacterium hidrosulfuricum ponticum*, etc.), que le van cubriendo al propio tiempo de pirita de hierro.

Estas particularidades del mar Negro, estudiadas por Androussow (1) pueden ser explicadas por la evolución geológica. Una parte de los fenómenos que han dado al Mediterráneo su forma actual, fueron según Suess (2) los hundimientos del Archipiélago y del mar Negro cuya mitad septentrional constituye desde luego un área de tal índole como ha hecho

(1) *La Mer Noire*, 8.º Congr. Geol. Int. St. Pet.

(2) *La Face de la Terre*, t. I.º, p. 817.

observar Spratt (1) fundándose en la naturaleza de los escarpados que limitan los relieves de Táurida y en el descenso brusco del fondo submarino.

Al final del Neogeno superior, después de verificada la sedimentación de los estratos que forman el cabo Tchaoude, continuaba el mar Negro habitado por una fauna salobre (*Cardium*, *Dreysensia*, *Monadacna*, *Didacna*, *Micromelania*, etc.), de origen áralo-caspiano y comunicaba con el de Mármara por el valle sumergido del Bósforo. A consecuencia del hundimiento verificado en la región del Helesponto, se produjo una ingresión del Mediterráneo, cuyas aguas penetrando primero por la Propontida en los Dardanelos, donde elevaron el nivel 30 ó 40 metros, acabaron por llegar hasta el mar Negro. Las especies vivientes citadas, adaptadas a la vida en el agua dulce o por lo menos salobre, debieron buscar refugio, después de establecida la comunicación con el Mediterráneo, en la parte septentrional del mar Negro—donde aún existen algunas en la desembocadura de los grandes ríos—y en el de Azow. Pero la mayor parte de la fauna pereció a principios del cuaternario, como lo prueba el haberse encontrado a diversas profundidades numerosas conchas de las especies características muertas (2) y la acumulación de los cadáveres en las partes profundas, como el gran estancamiento de las aguas del fondo, por falta de corrientes de circulación, iniciaron con las bacterias, el desarrollo de fenómenos de putrefacción *in situ* que han dado origen al ácido sulfhídrico.

Queda por explicar, cómo ha podido continuar la producción de gas a través del tiempo, con ausencia completa de ma-

(1) *Geology of Varna*, Quart. Journ. Geol. Soc. XIII (1856) p. 80.

(2) Haug., ob. cit., t. 2.º, p. 1868.

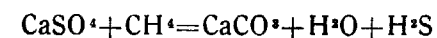
teria orgánica y por consiguiente de elementos que puedan sufrir la putrefacción. Los microbios, exactamente lo mismo que los vegetales y animales, se nutren tomando del medio en que se desarrollan tanto los elementos materiales que les son necesarios para la reconstrucción eventual de su protoplasma desgastado por los actos vitales, como los *energéticos* indispensables al cumplimiento de esos fines de vida. La sencillez de la estructura de las especies microbianas, podría hacer creer en la existencia de funciones vitales igualmente simples; nada hay más inexacto sin embargo; los microbios, sensibles a la agentes físicos, lo son aún más con respecto a los químicos que constituyen sus alimentos; estos deben permitirles la formación de sus tejidos haciéndoles independientes del calor solar, es decir, un desprendimiento de calor debe resumir la acción del protoplasma microbiano. Y esa sensibilidad química, es causa de que la presencia de un determinado elemento, aún a dosis infinitesimales, pueda tener una influencia decisiva en el desarrollo de las bacterias.

Entre los diversos alimentos microbianos, existe uno de primordial importancia: es el oxígeno. El agua del mar contiene siempre en disolución este elemento, que procede directamente de la atmósfera y se renueva como es natural difícilmente en las regiones abisales donde existe estancamiento de aguas densas y frías. En estas áreas, los organismos que viven en el fondo, se decir, el *benthos* consumen el oxígeno con cierta rapidez y las bacterias privadas de tal elemento se hallan en la precisión de tomarlo a los sulfatos operando su *reducción* (1).

No es un fenómeno nuevo esta reducción de los sulfatos

(1) De Launay, *La Science Géologique*, 3.^a ed., p. 341 bis.

por los seres organizados. Lapparent (1) ha indicado que se opera fácil y directamente por ciertas algas y Hoppe-Seyler comprobó igualmente que la acción del *metano* sobre un sulfato, daba lugar a ácido sulfhídrico:



Y si como se ha creído — sin fundamento sólido desde luego — existiese la intervención del hidrógeno naciente que que produce en numerosas fermentaciones, las levaduras que reducen los sulfatos deberían producir hidrógeno o metano, lo cual no ha sido confirmado por la experiencia. Existen microbios, por el contrario (*Granulobacter butylicus*, *Saccharobutyricus*, etc.), que originan hidrógeno sin operar la reducción de los sulfatos y de aquí la idea de una acción debida a microbios específicos (2).

Beijerinck ha aislado un energético reductor de los sulfatos (*Spirillum desulfuricans*) que procede de las aguas de un canal. Este espirilo es un anaerobio móvil de 4 micras de largo por 1 de anchura, que soporta hasta 70 miligramos de ácido sulfhídrico por litro y puede cultivarse en el siguiente medio:

Aspargina	0,0025 gramos.
Sulfato magnésico	0,0020 »
Fosfato Amónico	0,0020 »
» Potásico	0,0020 »
Lactato Férrico	0,0010 »
Carbonato Sódico	0,0100 »

Se puede comprobar la reducción del sulfato, saturando por una base (potasa o sosa) el ácido sulfhídrico formado, y

(1) *Traité de Geologie*, 5.^a ed., t. I.^o, p. 360.

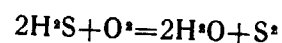
(2) Kayser, *Microbiologie appliquée a la Fertilisation du sol*, 4.^a ed. p. 292.

agregando unas gotas de nitroprusiato potásico. Indicios de sulfuro, originan una coloración violada.

V. Delden, ha encontrado así mismo, en las aguas del mar otra microbio reductor, el *Microspira aestuarii* capaz de soportar hasta 800 miligramos de ácido sulfhídrico por litro de agua.

Por último, junto a estas acciones microbianas y a la vez que ellas, puede existir la producción de ácido sulfhídrico por *hidrogenización del azufre ya formado*, fenómeno que según Rey-Pailhade es debido a la intervención de una diastasa reductora (*Philothion*), segregada por la levadura alcohólica cuando se añade azufre a una fermentación de este género, como puede observarse en la fabricación del vino cuando la uva está cargada de azufre por consecuencia del tratamiento contra el oidium.

La producción de azufre partiendo del ácido sulfhídrico, es debida a la oxidación de éste por el oxígeno de la atmósfera: Las soluciones acuosas de ácido sulfhídrico, se enturbian por el simple contacto del aire:



depositándose en virtud de esta reacción, un azufre finísimo insoluble.

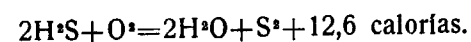
Pero la oxidación del mencionado gas puede aparecer así mismo como resultado de un fenómeno bioquímico complejo con intervención de bacterias filamentosas denominadas *sulfurarias* que Vinogradsky (1) ha dado a conocer y que según Egounow ejercen actualmente su acción en el mar Negro.

Dichas sulfurarias que forman ciertas vegetaciones conocidas con los nombres de *glairina* y *baregina* contienen azufre

(1) Beltr. zur. Morphol. der Bacterien.

en libertad entre las células de su protoplasma y necesitan naturalmente procurárselo para poder vivir. Se distinguen dos géneros denominados *Beggiatoa* y *Thiotrix* que se hallan en las aguas selenitosas y sulfurosas, en los pantanos, en las orillas del mar y en general, en aquellos sitios donde pueda observarse la presencia de sulfatos o los fenómenos de putrefacción.

Introduciendo la baregina en agua cargada de yeso, se observa en ciertos casos la producción de ácido sulfhídrico, originada desde luego por los microbios de la putrefacción, pero que fué atribuída primeramente a las sulfurarias. Estos microorganismos, son, por el contrario, *oxidantes* y aerobios, y si no disponen de una cantidad apropiada de ácido sulfhídrico, pronto dejan de existir. En el caso contrario, es decir, cuando encuentran el citado gas, le consumen, acumulando azufre en su interior, que puede ponerse de manifiesto tratándolas por el sulfuro de carbono después de desecadas:



El azufre constituye más de las cuatro quintas partes del contenido de la célula y actúa a modo de reserva orgánica. La oxidación del ácido sulfhídrico que tiene bastante analogía con la transformación del alcohol en vinagre (1) se efectúa con un desprendimiento de calor aprovechado por las bacterias y la energía liberada reemplaza en las beggiatoas aquella que proviene de la oxidación de las sustancias orgánicas en la respiración ordinaria. Por lo tanto, las sulfurarias pueden vivir sin alimentos orgánicos, o por lo menos sólo necesitan

(1) Kayser, ob. cit., p. 294.

una pequeña cantidad indispensable a la constitución de sus tejidos (1).

Estas sulfurarias, en aguas moderadamente cargadas de ácido sulfhídrico, acumulan azufre; transforman a éste en ácido sulfúrico por una nueva oxidación, si el agua se halla expuesta al aire y finalmente se extinguen con rapidez en las aguas cargadas de sulfatos, de no existir bacterias de la putrefacción, que reduciéndolos, les proporcionan el ácido sulfhídrico que tanto necesitan.

Junto a los géneros *Beggiatoa* y *Thiotrix*, puede citarse un tercer grupo de especies no filamentosas: la *Thiophysa volutans* estudiada por Hinze, la *Thiosphaerella* dada a conocer por Nadson, el *Spirillum granulatum*, el *Bacterium bovista* observado por Molisch y el *Bacillus thiogenes*, algunos de los cuales proceden de las aguas del mar. En la costa de Zelandia y en los limos negros de Odessa, han podido, por último, observarse otras sulfobacterias rojas que soportan cantidades de ácido sulfhídrico bastante elevadas. Estos microbios no necesitan materia orgánica y viven perfectamente a expensas de principios minerales.

Los microbios, infinitamente pequeños y por lo tanto infinitamente débiles, poseen una potencia de acción extraordinaria, porque multiplicándose en un tiempo muy corto, compensan la pequeñez de cada individuo con el número enorme de descendientes próximos. Cuando las condiciones físicas y químicas del medio son adecuadas, se verifica la reproducción de los microorganismos mediante un desdoblamiento de cada individuo, originario de otros nuevos que permanecen adyacentes o se aíslan. La rapidez de crecimiento y división es extraordinaria. En ciertos casos las bacterias

(1) Leclerc du Sablon, *L'Unité de la Science*, p. 182.

se desdoblán en dos horas y cada uno de los individuos formados vuelve a dividirse en igual espacio de tiempo, lo que conduce en un período de dos días a la formación de 16.000.000 de bacterias.

Se da el nombre de *poder de fermentación* a la relación $\frac{P}{T}$ existente entre el peso de materia transformada y el del microbio (que puede reemplazarse por el de uno de los productos originados por éste). Dicha relación es tanto menor cuanto que la descomposición de la materia produce más calor, y resulta por lo tanto muy elevada en las combustiones parciales en que el desprendimiento de calor es débil, como ocurre en el caso de los anaerobios.

Pastéur ha obtenido con el fermento alcohólico relaciones del orden siguiente:

$$\frac{\text{azúcar descompuesta}}{\text{levadura producida}} = 4 \text{ (aerobio), } 25, 100, 150, 175 \text{ (anaerobio)}$$

las cuales, como puede verse, van creciendo a medida que las condiciones de cultivo van siendo más anaerobias (1).

Este hecho general, como el anterior, hacen ver que un peso débil de microbio es capaz de transformar cantidades enormes de substancias, y así, no es de extrañar que estos pequeños seres ejerzan funciones importantísimas y contribuyan directamente a la génesis de las formaciones geológicas.

La producción de azufre derivado del yeso por una reducción microbiana, es por otra parte, un fenómeno que se ofrece a nuestra vista cuando los fragmentos de esa substancia procedentes de derribos de antiguas construcciones, se

(1) Kayser, ob. cit., p. 36.

hallan en presencia de materias orgánicas que han sufrido la putrefacción.

En unos trabajos ejecutados en París, en la plaza de la República, se encontró abundante azufre nativo cristalizado en formas que ofrecían el octaedro b¹ con truncaduras en las aristas, combinado con el prisma recto y con otro octaedro más agudo b $\frac{1}{2}$ que formaba apuntamiento.

El origen de esta substancia, *completamente independiente de las emanaciones del gas del alumbrado*, según Daubrée (1) se debe *con toda evidencia* a la presencia de estiércol, cuero, restos de vegetales, fragmentos de huesos, etc., que asociados a los escombros de yeso, formaban el relleno de los fosos que rodeaban la ciudad. Por su contenido en azufre, las muestras recogidas han hecho ver que se trataba de una mena explotable industrialmente y análoga por su aspecto a los ejemplares de Sicilia.

Este hecho, que sólo es una repetición del ya señalado por Haüy (2) con motivo de la demolición de la Puerta de S. Antonio, también en París, hace imposible dudar de que esta producción contemporánea de azufre, sea similar al fenómeno microbiano que en mayor escala ha debido dar origen a los yacimientos sedimentarios.

§ II.—Geología.

La formación de azufre de las provincias de Murcia y Albacete, que ofrece desde luego un carácter sedimentario, aparece enclavada en terrenos neógenos y se presenta con gran desarrollo en la Serrata de Lorca, continuando por Campos,

(1) *Annales des Mines*, Serie 7.^a, t. XVIII, p. 561.

(2) *Traité de Mineralogie*, t. IV, p. 413.

Lorquí, Molina, Fortuna y Abarán, hasta reaparecer con gran potencia en el término de Hellín.

El sistema neógeno está representado en ambas provincias por las dos series miocena y pliocena que aparecen bien diferenciadas, tanto por la discordancia de sus estratificaciones, como por la diversidad de los caracteres litológicos y paleontológicos. La primera ocupa una extensión mucho mayor que la segunda, la cual, por consecuencia de grandes fenómenos de gliptogénesis, da lugar a depósitos bastante limitados en la zona litoral y en la proximidad de Lorca, Ricote y Hellín.

La serie miocena, única que ofrece interés para nuestro estudio, por hallarse circunscritas a ella las formaciones azufrosas, presenta las dos facies, marina y lacustre—esta última mucho más importante para nosotros—con caracteres bien determinados. La primera, está limitada según Botella (1) por las sierras de Carrascoy y de la Pila, pasando desde el puerto de la Losilla hasta la sierra de la Mala Mujer, de edad cretácica, y aparece nuevamente en la vertiente septentrional hasta una línea limitada por el Bonillo, Lesuza, San Pedro, Chinchilla e Higuera, con la única solución de continuidad que ofrece un islote lacustre situado entre Socovos e Iso en la provincia de Albacete.

Aunque la composición mineralógica varía algo de unos sitios a otros, puede decirse que en general el mioceno marino está constituido por conglomerados en la base, areniscas y margas en la parte media, y calizas toscas fosilíferas en la alta.

En las proximidades del castillo de Lorca y en la falda de la sierra del Caño, el mioceno marino se halla integrado según

(1) Descrip. geol. min. de las prov. de Murcia y Albacete.

Pellico (1) por un depósito de arenisca caliza grosera, constituida por granos de cuarzo y pizarra, unidos por un cemento calizo. El yeso aparece relleno de las fisuras de la roca que contiene asimismo abundantes fósiles de los géneros *Balanus* y *Ostrea*. Debajo de este depósito, se halla otro de margas arcillo-yesosas y finalmente una arenisca deleznable de color rojizo con algunos cantos rodados de cuarzo y pizarra micácea.

Pertenecen en cambio a la facies lacustre, los estratos de las diputaciones del Río y Barranco Hondo, en cuya parte superior se presenta una capa de yeso de espesor variable, descansando sobre otra en que alternan algunos lechos de caliza dolomítica, con margas pizarreñas y pizarras arcillosas oscuras que contienen vetas e inclusiones de resinas fosilizadas.

Debajo de estos estratos está la zona explotable del yacimiento cuyas capas contienen en ciertos casos, restos leñosos en buen estado de conservación y continuando en profundidad, aparece una nueva pizarra silíceas con diatomeas, que encierra así mismo multitud de impresiones de peces y vegetales. D. Francisco Cánovas, culto catedrático del Instituto General y Técnico de Murcia, recogió numerosas especies fósiles que se hallan hoy en el Gabinete de Historia Natural del indicado centro docente. Entre los ejemplares, que corresponden tanto a la formación marina como a la lacustre, son dignos de mención los que seguidamente se expresan, cuya clasificación es debida a los Sres. Cánovas y Maillada: *Charcarodon megalodon*, *Hemipristis serra*, *Galeus canis*, *Oxyrhina xiphodon*, *Lamna contortideus*, *Pycnodus huggi*, *Sphaerodus cinctus*, *Nummo-palatus urcitanus*, *Leuciscus papy-*

(1) *Rev. Min. Met.*, t. III (1852).

raceus, *Acanthopsis augustus*, *Lebias cephalotes*, *Clupea latissima*, *Scomber rachicurvus*, *Carangopsis eliocrocae*, *Perca conceptionis*, *Sargodon melanodon*, *Sphirenodus macrophthalmus*, *Trachynopsis iberica*, *Trachygenis robustus*.

En el paraje denominado el Pinoso, situado unos 20 km. al N. de Lorca, se encuentra igualmente la formación lacustre, constituida por capas de margas arcillosas y otras subordinadas de yeso, recubiertas por una caliza margosa compacta. Estos estratos ofrecen cierta abundancia de *Paludinas* y otros fósiles de agua dulce.

Corresponden también al mioceno lacustre las manchas situadas al S. de Cehegín y Caravaca, en las cuales parece haberse encontrado, según indica el Sr. Jiménez de Cisneros, ciertos fragmentos de Mastodonte envueltos por un limo cuaternario originado por la disgregación de las rocas miocenas.

En el valle del Boquerón del término municipal de Blanca, existe asimismo una formación constituida por margas grises, azuladas y cenicientas, con intercalaciones de lechos calizos que alternan con yesos y arcillas yesosas. Estos estratos descansan sobre las calizas que forman las estribaciones de la sierra de la Pila.

Al N. y NW. de Cieza, hay también una mancha de agua dulce según las antiguas investigaciones de Silvertop (1), y en ella, sobre arcillas de color azul oscuro, descansan margas parduzcas arcillosas con lechos discontinuos de guijo, que soportan a su vez otras capas de arena con pequeños guijarros. En la rambla Amarga, existe a un metro por debajo de la tierra vegetal, una arena cuarzosa con intercalaciones de lignito en el que aún puede observarse la estructura vegetal de las

(1) *A geological sketch of the tertiary formation in the provinces of Granada and Murcia* (1836), p. 219.

fibras, y asociadas a éste, ciertas concreciones cilíndricas de succino que se reduce a polvo con gran facilidad.

La mancha miocena que al N. de la provincia de Murcia se extiende subdividiéndose por la inmediata de Albacete, es igualmente de origen lacustre y ofrece una gran importancia por encontrarse en ella las minas del Coto Menor de Hellín. La serie aparece representada casi completamente por margas blancas muy calizas, con aspecto de creta hojosa. Algunos lechos son tan compactos que poseen el aspecto de una porcelanita y en otros aparecen incluidos algunos nódulos de pedernal. Existen asimismo delgadas intercalaciones de trípoli bituminoso, en el que pueden observarse a simple vista, diatómeas, fragmentos de pequeños vegetales y otros restos. Entre ellos, existen impresiones de pequeños peces e insectos recogidos por Silvertop, siendo notable uno de los últimos, semejante a un mosquito, hallado en una lámina transparente de selenita (1).

Nosotros hemos encontrado una piña transformada en marga blanca, perteneciente probablemente al *Pinus canariensis* (especie viviente de las islas Canarias) y restos de un vertebrado difícil de clasificar por la escasez de caracteres que ofrecen los huesos, pero que pueden ser atribuidos a un *Arthiodactilo*.

En el centro de la gran cuenca miocena donde radican los yacimientos que estudiamos en ambas provincias, permanecen los estratos casi siempre horizontales y únicamente en los bordes se presentan más o menos levantados. El buzamiento es W-25°-N., en Lorca; N.-20°-W., y a veces, W.-25°-N., en Molina y Lorquí; N.-40°-E. en Abarán; y W.-20°-S. en Hellín.

(1) Mallada, *Explicación del mapa geológico de España*, t. VI.

La inclinación que en algunos de estos sitios es sólo de 5°, llega a alcanzar en otros 45°.

En la región de Lorca, se encuentran los estratos azufrosos a 4 km. en dirección NW. de la ciudad, extendiéndose a lo largo de una pequeña sierra denominada Serrata de Lorca. Esta ofrece una topografía de relieve escaso aunque cuenta con grandes pendientes en la vertiente E. que va hacia el llano por donde corre el llamado Barranco Hondo, conocido en su parte inferior con el nombre de Rambla Salada. En la falda W. el declive uniforme y suave, hace descender la superficie del terreno hasta otra llanura bastante extensa. Tanto las aguas de ésta que se reúnen en la Rambla del Chorrillo, como las procedentes del Barranco Hondo, discurren paralelamente a la dirección de la Serrata y van a parar al río Guadalentín que limitándola al SW. pasa por Lorca a tres kilómetros y medio más abajo del sitio en que corta a la dirección de la sierra.

En la región NE. de relieve menos pronunciado, va aumentando la elevación de los estratos con la proximidad a la sierra de Espuña cuya altitud llega a valer 1.584 metros.

La topografía de la Serrata, se halla estrechamente relacionada con la constitución geológica de los estratos. Estos se hallan atravesados por una falla paralela a la Sierra que deja a ésta en su lado E. y que como resultado de la escasa consistencia de las rocas, ha quedado descubierta por pendientes abruptas bastante más apartadas del flanco vertical de lo que en realidad se hallaría dicha falla. La traza de ésta en el plano horizontal de la llanura, coincide próximamente según Bentabol (1) con el Barranco Hondo desde el punto de

(1) Informe de la visita girada a las minas de azufre de las provincias de Murcia y Albacete, *Bol. Of. Min. Met.*, n.º 4 (1917).

este fronterizo al paso de la sierra por la carretera de Lorca a Caravaca, como aparece indicado en el adjunto corte geológico (fig. 1).

En la zona del Chorrillo, que se extiende hasta la pequeña sierra denominada La Pinosa, la topografía ofrece una multitud de pequeñas colinas de escasa elevación, en cuyas laderas afloran estratos paralelos de margas grises yesosas cuya constitución, inclinación y buzamiento, son idénticos a los de la Serrata. Esta zona se halla atravesada por un gran número de pequeños barrancos que van a desaguar en la Rambla



Fig. 1.

del Chorrillo, ya citada, la cual, nace en las vertientes de la sierra de Espuña y uniéndose más tarde con la de Caravaca, va a parar al río Guadalentín.

La constitución de las márgenes de esta rambla, especialmente la de la derecha, donde existen grandes tajos, hace posible observar la estructura del subsuelo, que está constituido como siempre por una alternancia muy regular de capas margosas y yesosas más o menos compactas, siendo la inferior de las visibles, que está situada en la margen izquierda, muy claramente arcillosa y dura.

En los terrenos cercanos a la rambla de Peña Rajada y al barranco de la Jarrumentia, se hallan al descubierto ciertos cortes del terreno, como consecuencia de lluvias abundantes. Tales cortes han hecho ver que los estratos poseen la misma

alternancia y constitución petrográfica que los de la Serrata, siendo digno de notarse que en algunos sitios, las margas yesosas ofrecen un color amarillento, debido sin duda a abundantes y pequeñísimas inclusiones de azufre.

Al W. del cortijo denominado Jarrumentia de Abajo, donde se encuentran la cañada de las Gallinas, el barranco de San Antonio, y otros de menor importancia, afluentes a él, aparecen asimismo bajo las capas de yeso, las margas pizarrosas de la Serrata, y en las lomas de Jofré, por último, pueden ser observados los propios estratos de aquella, pero con buzamiento inverso, como ha quedado indicado en el corte geológico que se acompaña.

En el límite de las provincias de Murcia y Albacete y entre los ríos Mundo y Segura, el terreno forma un promontorio surcado por profundos barrancos, en cuyas vertientes occidentales, hacia el Segura, se encuentran los yacimientos de azufre. La zona donde radican las minas, debió ser una gran llanura ondulada ligeramente, lo que apenas se percibe en la actualidad por la acción prolongada de los fenómenos de gliptogénesis que han originado multitud de cañadas y barrancos.

Gracias a la denudación, pueden ser observadas las diferentes capas, apreciándose un espesor de 100 metros en el lugar denominado Maeso. Al propio tiempo, quedan al descubierto las calizas que sirven de base a la formación, en la orilla derecha del río Mundo.

Los estratos son paralelos y aunque ofrecen ciertas ondulaciones, presentan una dirección de conjunto N.-20°-W.; buzamiento W.-20°-S. e inclinación que oscilando entre 15 y 25° aumenta con la distancia al río Segura. Como consecuencia de esta inclinación, las capas de la explotación que se apoyan al E. sobre la caliza de los Almadenes del Mundo, como

acaba de indicarse, afloran en la superficie, pero como el yacimiento se encuentra empobrecido en tal zona, sólo pueden percibirse estratos de yeso con ligeras indicaciones azufrosas.

Las capas están constituidas por calizas, margas y pizarras arcillosas y en casi todas ellas, se encuentran los sulfatos aluminico y magnésico, y sobre todo, el cálcico, cristalizados. Este último no se presenta donde lo hace el azufre y aparece en cambio con gran abundancia cuando llega a faltar el indicado metaloide, afectando la misma estratificación que él.

En primer término, aparece un lecho de tres metros de espesor, constituido por cantos rodados silíceos, entre los que

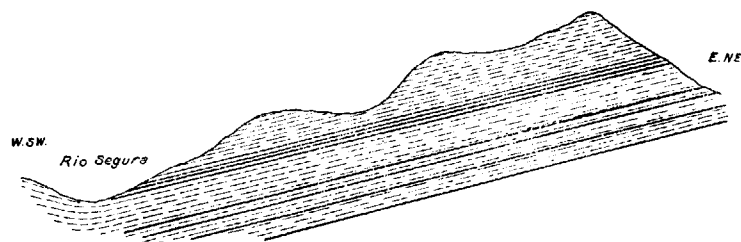


Fig. 2.

se presentan pequeñas capas de arena muy fina. Siguen 35 metros de margas que alternan con lechos de caliza de grano grueso, ofreciendo un espesor de 0,05-0,20 metros y continúan 10 metros de materiales análogos, tanto en composición, como en el modo de yacimiento, pero con un tinte oscuro, que por su semejanza con ciertos terrenos de Cartagena han recibido el nombre de azules.

Debajo de estos estratos, se presentan los azufrosos, que alternan con lechos de caliza, margas, arcillas más o menos bituminosas, y yesos. Del conjunto de la formación, puede tenerse idea por el corte geológico que acompañamos (fig. 2).

Examinadas al microscopio las calizas superficiales, apa-

160

recen compactas y formadas por granos irregulares muy pequeños, acompañados de partículas arcillosas que marcan una tendencia a las margas. Como elemento accesorio aparece el cuarzo en cristales de pequeño tamaño. Los fósiles microscópicos, están representados por restos de *globigerinas*. Aunque se han incluido con gran frecuencia entre las formaciones abisales, tanto las rocas arcillosas que contienen estos fósiles, como los tripolis con radiolarios, pueden encontrarse, como ha hecho observar Haug (1) asociados en ciertos casos a formaciones de origen lagunar. Esto ocurre precisamente, según opinión nuestra, en la caliza margosa que consideramos, en la cual debe tenerse presente que han sido hallados restos de un arthiodáctilo.

Las calizas que por hallarse impregnadas de azufre, constituyen los estratos explotables, están asociadas muchas veces a materias bituminosas, y tanto unas como otras, observadas en el microscopio, hacen ver la presencia del indicado metaloide en corpúsculos pequeñísimos que carecen de reacción óptica, lo que es indicio de que dicho azufre ha sido originado en estado amorfo. Examinadas las preparaciones con gran aumento, se pone de manifiesto la distribución irregular de esta substancia entre los granos de calcita que poseen contornos rectilíneos o redondeados y ofrecen como de ordinario, irisaciones muy pronunciadas entre los nicoles cruzados, en razón de su birrefringencia elevadísima.

Las margas que sirven de techo al azufre que se explota actualmente en la denominada «octava capa», ofrecen un corto número de pequeños granos de cuarzo y bastantes de calcita, que se revela como siempre, empleando gran aumento, por irisaciones pronunciadas entre los nicoles cruzados. Pue-

(1) Ob. cit., t. II, p. 1604.

den también ser observadas algunas diatomeas de caparazón silíceo y forma circular, y abundantes espículas de esponjas, también silíceas, probablemente *monactinélidas*.

Al W. de los yacimientos y a corta distancia de ellos, se levanta al otro lado del Segura y por lo tanto en plena provincia de Murcia, un cerro eruptivo denominado el Monagrillo que no figura en el Mapa Geológico. Este cerro, ha sido considerado como traquítico por Botella, pero el estudio micrográfico de la roca (1) nos hace creer que debe estar comprendida en el grupo de los *lamprofiros traquíticos* de Iddings, en el cual, este eminente petrógrafo (2) incluye la *verita*, la *fortunita* y la *jumillita*, cuyos solos nombres bastan para indicar que se trata de ciertas vulcanitas de Vera (Almería), Fortuna y Jumilla (Murcia).

Macroscópicamente aparece la roca, cuando está inalterada, con una coloración gris oscura, ofreciendo manchitas blancas y algunas vacuolas. Por descomposición suele adquirir color rojizo, y tanto en este caso, como cuando está sana, se perciben a simple vista numerosos fenocristales de mica, que se destacan perfectamente.

En el microscopio, aparece con textura porfídica, apreciándose perfectamente abundantes fenocristales de biotita, que ofrecen algunas veces inclusiones muy pequeñas de apatita. Se observan asimismo, fenocristales escasos de piroxeno rómbico, probablemente broncita, que ofrecen débil policromismo y una extinción incompleta que da lugar a partes claras irregulares.

(1) Nos creemos obligados a expresar aquí nuestro reconocimiento al distinguido ingeniero Agregado al Instituto Geológico de España, D. Enrique Rubio y Sandoval, cuya colaboración en los trabajos micrográficos, ha sido harto valiosa.

(2) *Igneous Rocks*, t. II, p. 187.

La matriz, pilotáxica, suele ofrecer alguna impregnación vítrea que marca un tránsito a la textura hialopilitica. Está constituida por microlitos de biotita y del citado piroxeno rómbico y quizás algunos muy escasos de olivino.

Aunque poco abundantes, se hallan presentes la augita y la apatita en cristales microscópicos, como asimismo otros elementos accesorios: el granate en fenocristales isótopos de color pardo-amarillento o incoloros y la hematites en pequeños granos que ofrecen coloración roja. La magnetita, con su opacidad característica, se presenta, por último, como elemento secundario escaso, que proviene seguramente de la transformación de la biotita.

En la roca que nos ocupa, de textura porfídica, como acaba de indicarse, los fenocristales, o por lo menos los núcleos centrales de éstos, se han formado con toda certeza antes que la matriz y el contraste entre ellos y los microlitos de la pasta, es suficiente para dar idea de la gran movilidad interna del baño magmático que ha permitido que los elementos puedan agruparse para formar grandes individuos cristalinos.

Más tarde, y a consecuencia de un enfriamiento rápido, aumenta la viscosidad del baño, y encontrando los elementos una facilidad mucho menor para agruparse, sólo han podido dar lugar a los microlitos de la matriz. Por último, cuando la consolidación se ha verificado con mayor rapidez que la cristalización, ésta no ha podido, naturalmente, producirse, y de ahí la presencia del vidrio.

Las textura porfídica se encuentra con especialidad en las rocas efusivas, y como éstas suelen ofrecer desprendimientos importantes de los gases disueltos en el magma, es lógico pensar que este fenómeno tenga asimismo una influencia bien marcada en la disminución de la movilidad interna del baño,

y por lo tanto, en el desarrollo de innumerables y pequeños centros de cristalización.

Siguiendo a Rosenbusch, los fenocristales del lamprofiro que estudiamos, deberían constituir *formaciones intratelúricas*, por haber tenido origen en profundidad, mientras que la matriz aparecería en cambio como resultado de la solidificación del magma en el momento de su emersión en la superficie, siendo en consecuencia una formación de la *fase efusiva*.

Pero cuando los fenocristales y los elementos de la pasta están constituidos por idénticas especies minerales, como ocurre en el caso presente, tendrá lugar seguramente una secreción de estas especies y se originará una *recurrencia* en la formación de los minerales. Así, no resulta admisible en nuestro caso la hipótesis de una formación de los fenocristales únicamente durante el período intratelúrico. Seguramente ha existido una continuación de la segregación mineralógica en condiciones exteriores modificadas.

Es bastante frecuente que las vulcanitas ofrezcan diseminados en su masa, ciertos fragmentos de rocas extrañas denominadas *xenolitos* o *enclavas*, que han sido objeto de un detenido estudio por parte de Lacroix. Estos fragmentos fueron arrancados de las paredes de la chimenea volcánica o proceden directamente de la profundidad, quedando más o menos alterados en virtud de la acción disolvente del magma, que en general no afecta por igual a las diferentes especies minerales. En algunos casos, ciertos elementos han quedado intactos o transformados ligeramente, al paso que en otros, dichos minerales han sido reemplazados por una ortosa de nueva formación. A veces subsiste este cuerpo aunque deformado y encerrando en los bordes de los cristales, ciertas inclusiones vítreas suficientes para atestiguar la acción de altas temperaturas.

En la preparación que procedente del Monagrillo hemos examinado, queda de manifiesto la ortosa en numerosos fenocristales, correspondientes a individuos que nunca llegan a formar maclas, y el estudio de esta enclava, nos inclina a creer que se trata de un feldespatos de formación profunda, arrojado al exterior por la erupción.

Esta última, ha atravesado las capas miocenas, dejando poco alteradas las margas y calizas arcillosas que en estratificación bastante regular circundan al Monagrillo. El exomorfismo originado en la caliza por el contacto con la vulcanita en estado líquido, se ha limitado a una simple cristalización de los granos de calcita, produciendo una tendencia a la marmolización. Este metamorfismo exógeno, reviste en general escasa importancia; bien porque los gases del magma salen sin presión a la atmósfera, como cree Lacroix, o por la película, que a consecuencia de un rápido enfriamiento exterior, se forma, según Rosenbusch, en la roca eruptiva, protegiendo la parte interna líquida a modo de pantalla atérmica.

En una de las laderas del citado cerro, existen grietas de las rocas sedimentarias, rellenas por la eruptiva que no las ha afectado, y un poco más allá, en la misma falda, se ha llegado a formar un conglomerado de trozos de la roca volcánica y fragmentos de la caliza arcillosa que sigue conservando su estratificación, no obstante ocupar posiciones distintas en la masa.

Todos estos fenómenos, hacen bien patente la posterioridad de la erección del Monagrillo relativamente a la deposición de las capas miocenas. Más adelante, después de consideradas las relaciones que ligan esta erupción con las acaecidas en las provincias de Murcia y Almería durante la misma época, veremos que debe ser tenida como pliocena.

Esta circunstancia es bastante importante, sobre todo si se tiene en cuenta que han existido opiniones sustentando la idea de una relación estrecha entre la formación de los yacimientos azufrosos y el fenómeno volcánico que acabamos de reseñar.

Estudiados, aunque no con todo detenimiento, los diferentes elementos que más o menos estrechamente se hallan relacionados con las formaciones sulfurosas, pasemos a considerar los fenómenos que han dado origen a la disposición actual.

El sistema neógeno, caracterizado en Europa por el gran desarrollo que durante él adquirieron las aguas dulces, comprende un fenómeno orográfico — el gran levantamiento alpino—de importancia tal, que todos los demás hechos no constituyen sino detalles de orden mucho más secundario.

Al final de la era mesozoica y partiendo de la transgresión cenomanense, se hace perceptible un período de regresión que acentuado en el eogeno, alcanza durante el neogeno su fase máxima. Este fenómeno queda explicado racionalmente si se supone que en tal época, el geosinclinal de la Thetys que había alcanzado su mayor profundidad, comenzó a ser plegado y exundado en virtud de los movimientos tangenciales que originaron la erección alpina.

Este sistema montañoso, cuya extensión es comparable a la de la cadena Herciniana, se inició en California y en las mesetas elevadas del Colorado, y transmitiéndose hacia el E. a través de la parte septentrional del Atlántico, formó en Europa los Alpes, los Pirineos, la cordillera Penibética, los Apeninos, los Cárpatos, los Balkanes y el Cáucaso, y dió lugar en Asia a los enormes arcos del Irán y del Taunus, al elevado Himalaya, al Kuen-Lun, y a los arcos divergentes de la China y la Malaca.

Tal levantamiento, carece, como puede imaginarse, de homogeneidad en el espacio y en el tiempo, y engendrado por acciones sucesivas y complejas que actuaron sobre materiales distintos, no puede menos de ofrecer diferencias extraordinarias de unos sitios a otros.

La época en que cada segmento alcanzó su máxima altura, no es por consiguiente la misma, y así, mientras los levantamientos americanos se verificaron en los comienzos del eoceno, corresponde el de los Pirineos al final de ese período; y a las últimas etapas del mioceno, los Alpes, con la cadena Penibética y las montañas de Marruecos.

El esfuerzo orogénico, encontró al producir el empuje, numerosos obstáculos en los pliegues hercinianos, y estos obstáculos o ante-países de Suess, hallándose unas veces al N. y con menor frecuencia al S. de la zona plegada, dieron lugar a que ésta se retorciese, originando una gran complicación de líneas directrices.

Corolario de esta complejidad de movimientos, es que el relieve no coincida en todos los casos con las líneas tectónicas o de levantamiento, a lo cual contribuyen también los hundimientos que siguieron a la erección de la cadena, y en proporción mucho menor, otros movimientos tectónicos complejos, que nunca faltan en la región externa de una montaña joven.

La diferencia entre estos movimientos alpinos y los hercinianos, se manifiesta especialmente en la mayor amplitud de los primeros, lo que puede explicarse observando que la gran extensión de las tierras afirmadas en la era terciaria, fué causa de la estrechez de la geosinclinal comprendida entre ellas, comparada con la existente en la era paleozoica.

A lo largo de la cadena levantada, se produjeron fenóme-

nos análogos a los que según la cadena herciniana caracterizaron el permo-trías, y estos fenómenos dieron lugar, gracias al predominio de un régimen geocrático y al establecimiento de climas desérticos, a las pizarras bituminosas, el yeso y las sales.

Se trata simplemente del *Schlier* helvético, que comienza el meso-mediterráneo o vindoboniense, en cuyo transcurso tuvo lugar la evaporación del primer mediterráneo. En toda la región afectada, se depositó una molasa marina, que contiene numerosos lentejones de sal, y en ciertos sitios, sales alcalinas, lo que es indicio de una evaporación ya muy avanzada.

Después de lo indicado, aparecen en la parte superior del *schlier*, saturada de yeso y de sal, ciertas plantas terrestres suficientes para probar la existencia de un continente emergido y tras estos fenómenos, una nueva ingresión marina característica de la denominada fase caspiana, invade las regiones para evaporarse a su vez en un período de retroceso a cuyo final asistimos actualmente en la zona aralo-caspiana.

Este notable período del *schlier*, que desempeña un papel importante en Europa, para la concentración de sustancias hidrocarburadas o salinas en las lagunas, corresponde a los primeros movimientos alpinos, de los que constituye seguramente el contragolpe, no obstante que dichos movimientos se prolongan con toda certeza mucho tiempo después.

Más tarde y durante los últimos tiempos miocenos, llegó a producirse una sequía singular en toda Europa. Antes del levantamiento alpino el mar estaba casi por completo en la parte meridional, mientras que ahora no se encuentra, por decirlo así, en ninguna parte. Del Mediterráneo sólo quedaron en la época Sarmática, dos grandes lagunas salobres en vía

de desaparición: una que ligaba Andalucía con la punta W. de Cerdeña y otra que cubriendo una parte de Italia y la isla de Sicilia, se dirigía hacia Egipto.

Entonces se produjeron, naturalmente, una serie de depósitos de yeso en toda la región mediterránea y el pónico sobre todo, que preludiaba directamente al plioceno, encierra yesos en Murcia, Andalucía, Toscana, Calabria y Sicilia, donde constituye la célebre formación sulfo-yesosa.

El período mioceno ofrece en España un interés de primer orden. Los movimientos que levantaron el sistema Ibérico deprimieron el eje herciniano dejando entre ambos una depresión alargada en dirección N.S. Esta depresión estaba subdividida en dos por la arista precambriana de la cordillera central. Entre la parte N. de la Ibérica, los Pirineos y la cadena costera catalana quedaba comprendida otra gran depresión. En síntesis: unida a la meseta la región N. W. de la Península, los restos de los ejes huroniano y herciniano, el eje alpino de los Pirineos y el borde levantado del macizo primitivo, individualizaron tres grandes cuencas casi cerradas, cada una de las cuales constituía, no un lago muy extenso como repetidamente se ha creído, sino más bien un conjunto de pequeños lagos y lagunas cuyo régimen y circunstancias climatológicas van siendo conocidos perfectamente.

En el litoral de Levante, el Mediterráneo avanzaba más al W. que actualmente, y existía asimismo un gran número de lagos y lagunas rodeados por montes y cerros. En la zona de Lorca, las sierras de Tercia y del Caño, que pertenecen al sistema triásico y ofrecen una constitución idéntica, estuvieron unidas antes de que se abrieran paso a su través las aguas del Guadalentín. Algunos testigos de roca existentes en el angosto espacio por donde el río atraviesa la antigua sierra, de los que

no podría decirse con seguridad absoluta a cuál de las mencionadas sierras pertenece, son suficientes para dejar evidenciada su estrecha unión (1). De este modo, quedaba cerrado el amplio valle en que se encuentran los yacimientos, y en el transcurso de la época, las aguas del Guadalentín unidas a las de un gran número de ramblas y barrancos, llegaron a formar un lago importante.

En la región de Hellín, la cuenca comprendida entre las sierras que, comenzando en la de los Doceles van a terminar en la de las Cabras y en los picos de Hellín, debió constituir de igual manera otro extenso lago, antes de que los fenómenos de erosión posteriores que allí tuvieron lugar originaran la actual topografía que permite el curso libre del Segura. Y el citado lago debió quedar alimentado por las aguas procedentes de los numerosos barrancos.

Los primeros tiempos del mioceno debieron ser lluviosos (2) lo que unido a un régimen climatológico adecuado, permitió que en las tierras que circundaban a los referidos lagos se desarrollase una vegetación constituida por multitud de especies arbóreas análogas a las de los climas del S. de Europa o del N. de Africa, como puede comprobarse por los numerosos yacimientos de lignito existentes en las formaciones de agua dulce.

Ultimamente, y como consecuencia postrera de los grandes movimientos orogénicos, debió establecerse un relieve particular que, ejerciendo notable influencia sobre la naturaleza del clima, llegó a transformarle en desértico. De este modo,

(1) Peña y Pato, «Estudio industrial de varios yacimientos metalíferos del término de Lorca (Murcia), *Bol. Of. Min. Met.*, n.º 11 (1918).

(2) Mallada, ob. cit., t. VI.

aumentó la concentración en los lagos, cuyas aguas perdidas por evaporación no quedaban compensadas por las precipitaciones atmosféricas, y cuando la cantidad de sales disueltas, que aumentaba a medida que el agua iba evaporándose, fué suficiente, comenzaría la precipitación del yeso. Antes de este fenómeno era ya imposible la vida de la fauna lacustre, por la gran proporción de elementos contenidos en el agua, y cuando los organismos perecieron, la descomposición de sus restos favoreció el desarrollo de bacterias anaerobias que actuaron primeramente sobre ellos y redujeron más tarde el yeso dando lugar a los yacimientos de azufre como ha quedado explicado en el § I.

Los estratos azufrosos recién formados poseían una horizontalidad que quedó alterada más tarde en virtud de los movimientos del terreno. En el tramo sarmático se redujo, como hemos visto, la superficie de los mares tortonienses, aislándose en cuencas independientes de fase lagunar, y después de nuevos levantamientos, las corrientes de agua que descendían de las montañas recién formadas, determinaron el establecimiento de un régimen fluvial que transportó a grandes distancias los detritus de las sedimentaciones postreras.

A consecuencia del gran movimiento orogénico, que se manifestó por grandes hundimientos en la región mediterránea, volvieron a existir los esfuerzos tangenciales, que parecían extinguidos, y se produjeron los pliegues del Atlas y la cordillera Bética, unidos por un arco curvo, de convexidad dirigida al W. entre Tarifa y Tánger. De este modo quedaron cerradas las comunicaciones, existentes desde principios del neogeno, entre el Mediterráneo y el Atlántico por los canales nordbético y sudrifeño, situados a ambos lados del geosinclinal que originó las mencionadas cordilleras.

En último término, las grandes erosiones verificadas en el cuaternario, con los demás fenómenos de gliptegénesis que cierran el ciclo de las grandes evoluciones geológicas, acabaron de modelar la zona del levante de la Península, dándole la forma que actualmente posee.

En los distintos períodos geológicos se han producido una serie de plegamientos cuya zona de extensión ha sufrido más tarde determinados desplazamientos y, sobre todo, reducciones, a medida que el tiempo transcurría, y a la vez que ellos, los hundimientos conexos parecen ofrecer por el contrario una cierta tendencia a efectuarse, compensando en cierto modo la menor flexibilidad que la corteza terrestre posee, al plegarse los estratos que la forman.

Estos desplazamientos han provocado movimientos correlativos de las rocas flúidas que han llegado a elevarse en primer término en la base de las zonas plegadas, dando origen a cristalizar en determinadas condiciones a grandes masas de plutonitas cuya basicidad depende tanto de los elementos absorbidos como de la profundidad. Pero otras rocas que proceden de los mismos magmas, presentando una diferenciación más acentuada, se han elevado asimismo en una serie de fracturas próximas a la superficie, y cristalizando bajo cierta presión y en presencia de determinados mineralizadores, produjeron masas rocosas microgranulares en las que como corolario de sus propios desplazamientos pueden ser estudiadas etapas de consolidación más diferentes.

Ultimamente, y gracias a una diferenciación más perfecta, han podido extenderse superficialmente, produciendo el conjunto de fenómenos que caracterizan el volcanismo, con predominio de tipos microlífticos o vítreos y casi sin intervención de agentes mineralizadores. Estas manifestaciones se hallan

ligadas estrechamente a los hundimientos que han originado grandes paraclinas verticales.

Así, los fenómenos de diastrofismo reseñados, poniendo en comunicación la pirofera con la superficie terrestre, facilitaron la salida de los magmas dando lugar a gran número de volcanes en las zonas S. de España y N. de Africa, quedando como testigo de las primeras los asomos de vulcanitas que bordean la costa desde el cabo de Gata hasta el de Palos y los demás que existen en la provincia de Murcia. Dentro del mismo Mediterráneo y en relación estrecha con las fallas producidas en el área hundida, emergió de las aguas la Isla de Alborán, lo que es indicio de que ciertas manifestaciones volcánicas aún no comprobadas, pueden hallarse en el fondo del Mediterráneo.

También han debido quedar ocultas bajo los sedimentos pleistocenos otras actividades volcánicas de importancia mucho menor, porque seguramente no tendrían todas ellas la misma intensidad ni una duración idéntica, y de esta manera, no pudieron dejar iguales vestigios que permitan juzgar su complicado proceso.

Se ha admitido que las erupciones de la región levantina, dieron principio en el eoceno, terminando en el neogeno medio: sin embargo, las de la Europa occidental y meridional son generalmente más modernas, oscilando entre el helvético y el pleistoceno, y se hallan en relación con el hundimiento del área central mediterránea.

A pesar de la opinión contraria de Gentil (1), que estudió con detalle la edad de las diferentes avenidas del Tifarouine situado en la provincia de Orán, llegando a deducir que comenzaron en el tortoniense, y antes por lo tanto del hundi-

(1) *Le Bassin de la Tafna.*

miento indicado, el estudio de las vulcanitas de Cartagena ha hecho ver a Villasante (1) que la aparición de tales rocas es posterior a la fase lagunar del pónico, haciendo lógico suponer su origen como una consecuencia de las grandes dislocaciones tectónicas verificadas en este período.

Donayre (2), describiendo la región SE. de Almería, supone aún más modernas las citadas erupciones, y llega a referirlas a la época postterciaria, por haber ocasionado el levantamiento de los estratos pliocenos, y Calderón (3), en su estudio sobre las rocas de Cabo de Gata e Isla de Alborán, cree también admisible esta hipótesis que ha sido corroborada por Pié (4) gracias a la observación directa del levantamiento de ciertos estratos con fósiles pliocenos.

Con todo, en su atinado estudio sobre las rocas hipogénicas de Marruecos, hace notar Marín (5) las analogías y afinidades que ofrecen las erupciones andesíticas y traquíticas del N. de Africa con las del S. de España y llega a deducir que pudieron tener lugar en el plioceno medio y superior.

Esta opinión queda robustecida observando que los asomos eruptivos marcan la formación del Mediterráneo occidental llegando a constituir un circo semejante al formado por las andesitas del Pacífico entre las costas de América y Asia. Así, las andesitas citadas por Fouqué y Levy (6) en la isla de

(1) «Criaderos de hierro de Murcia», *Mem. Inst. Geol. Esp.*

(2) «Descripción geológica de Almería», *Bol. Com. Map. Geol. Esp.*, t. 4.º

(3) «Estudio petrográfico de las rocas volcánicas del Cabo de Gata e Isla de Alborán», *Bol. Com. Map. Geol.*, t. IX.

(4) «Criaderos de hierro y de plomo del levante de España», *Rev.ª Min.ª*

(5) *Bol. Inst. Geol. Esp.*, 2.ª serie (1917), t. XXXIII.

(6) H. Hermite, «Geología de las islas Baleares», *Bol. Inst. Geol. Esp.*, t. XV.

Mallorca y por Ferragut en la de Menorca parecen indicar que el cordón eruptivo de Murcia y Almería, continúa por las islas Baleares y la prolongación de estas manchas se halla probablemente en las liparitas de Cerdeña y en las traquitas de Toscana, siguiendo por el S. en las mismas rocas del monte Olíbano de Nápoles, las liparitas de la isla Pantelaria y las traquitas de Galita hasta volver al N. de Africa.

Este circo es también análogo al de la planicie de Hungría, cuyo movimiento parece contemporáneo del efectuado en el Mediterráneo (1).

§ III.—Minas de Lorca.

Los yacimientos azufrosos del término municipal de Lorca, en la provincia de Murcia, constituyen en conjunto una faja reconocida de uno a dos kilómetros de anchura por diez de longitud, a lo largo de la Serrata de Lorca, de que ya nos hemos ocupado. Sobre esta faja se hallan las numerosas concesiones mineras que, aunque orientadas individualmente hacia el N. magnético, forman un conjunto que se dirige de S. SW. a N. NE. en el mismo rumbo que la Serrata. En ésta existe un coto minero de 360 hectáreas y otras concesiones que elevan a 1.719 el total de la superficie concedida. La demarcación más próxima a Lorca, a partir de la carretera que une esta población a Caravaca, es la denominada «Segundo Emilio», que la referida vía de comunicación comienza a cruzar a unos 4 kilómetros al N. del barrio de San Cristóbal.

La zona explotable del yacimiento está formada por tres capas de caliza margosa, que contiene gran cantidad de inclusiones, lentejuelas y bolsadas de azufre. Estas capas se dirigen

(1) Sues, ob. cit., t. I, p. 306.

de E. a W. próximamente y buzan al W. N. W. con una inclinación que, oscilando entre 25 y 33°, aumenta a medida que los sitios son más meridionales.

En el pozo «Sagrado Corazón de Jesús», abierto en el coto «La Felicidad», ha podido observarse la sucesión de los estratos, que según el Sr. Belón (1) es la siguiente:

Tierra vegetal	2	metros.
Tierra descompuesta	2	»
Yeso compacto	2	»
Yeso y arcilla	0,50	»
Yeso compacto	7,90	»
Yeso más flojo	1,90	»
Yeso con vetas de arcilla	0,40	»
Yeso compacto	1,80	»
Molineras	0,20	»
Yeso compacto	1,95	»
Yeso con arcilla	5,95	»
Yeso muy compacto	3,45	»
Yeso descompuesto y arcilla	2,65	»
Yeso más fuerte	1,20	»
Yeso y arcilla	3,00	»
Yeso fuerte con arcilla y agua	2,00	»
Yeso muy fuerte con agua	1,70	»
Arcilla plástica	0,20	»
Pizarras duras	0,50	»
Pizarras flojas, arcilla plástica y agua	17,04	»
Yesos duros y blandos en capas alternantes	51,66	»

A la profundidad de 110 metros fué cortada la primera capa de azufre, y mediante cruceros de 12 m. de longitud, que se abrieron en las pizarras, la segunda.

El contenido en azufre varía de 8 por 100, que se considera como estéril, hasta 40 por 100 que sólo aparece en casos raros. La ley media es de 20 por 100.

(1) Carbonell, «Comunicación al Sr. Director General de Agricultura, Minas y Montes», *Bol. Of. Min. Met.*, n.º 13 (1918).

Las rocas del yacimiento, y con especialidad las pizarras arcillosas, poseen un olor característico, debido a una impregnación de sustancias bituminosas cuyo origen debe buscarse en la descomposición de materias orgánicas. Esta descomposición produce hidrocarburos cuya proporción ha llegado hasta el 30 por 100, según ha podido comprobarse por el análisis de los gases obtenidos en la destilación de las pizarras. En la mina «San Juan Bautista», antiguamente denominada «San José», se produjo en el año 1900 una explosión de grisú que llegó a causar algunas víctimas y la paralización de las labores que se llevaban en la capa más profunda.

El sistema de laboreo que se ha llevado en la Serrata es bastante pobre y atrasado, siendo quizás la causa una falta de proyectos de explotación que contasen con la amplitud necesaria, y sobre todo la carencia de recursos.

Las labores interiores comunican en general con la superficie, por medio de trancadas inclinadas, bajas, estrechas y resbaladizas; los pozos existen en número muy escaso. Como por la inclinación de los estratos el campo de explotación queda pronto apartado de aquéllos y no se han establecido transportes, sólo se ejecutaron a partir de los referidos pozos unas galerías generales que no merecen este nombre, muy bajas y estrechas y con ciertas deficiencias, que bastan para dificultar y encarecer el transporte de los minerales, cuyo valor es muy escaso.

La ventilación es artificial generalmente, y aunque al principio se llevaban en seco la mayor parte de las explotaciones, hubo necesidad de abandonarlas al llegar al nivel de las aguas o de abrir pozos para facilitar el desagüe; pero los campos de explotación han quedado en todo caso muy limitados por haberse cortado las capas a una profundidad pequeña.

El beneficio de las minas de azufre se ha llevado a cabo mediante una primera fusión en hornos *calcaroni*, que fueron substituidos en parte por otros de los sistemas *Gil y Ruiz y Claret*. Los hornos *calcaroni* son descubiertos y poseen una forma cilíndrica de 2,5 a 5 m. de diámetro y 2 a 4 m. de altura, hallándose excavados parcialmente en el terreno y sostenidos también en parte por medio de muros. Interiormente son siempre de mampostería y en la parte inferior existe un depósito de forma irregular que sirve de colector del azufre. Este cuela por agujeros practicados en una abertura del horno, alargada y estrecha, que se cubre con barro mientras dura la fusión.

Los hornos *calcaroni* tienen el grave inconveniente de su pequeño rendimiento, pues en ellos es preciso quemar una proporción muy grande de azufre para dar lugar a la fusión y colada del que se aprovecha. Por esta causa, en la Serrata de Lorca, que ha sido el único sitio donde aun eran empleados, se han ido reemplazando, como acabamos de decir, por otros sistemas que emplean combustible de menor precio que el azufre.

Los denominados *Gil y Ruiz* funcionan en batería y están constituidos por un cilindro de 4 m. de diámetro y 7 de altura, terminando en la parte superior por un casquete esférico. Se construyen con mampostería ordinaria y poseen una compuerta de carga, chimenea que permite el acceso del aire, y una abertura inferior que establece la comunicación con un colector general de 1 m. de ancho y 1,80 de altura, en el cual se condensa el azufre que arrastran los gases de la combustión. La plaza de los hornos es inclinada y posee una determinada dirección, a fin de favorecer la colada del azufre, que se provoca periódicamente haciendo una *punchada* en la abertura existente

en el paramento del horno. El azufre líquido se recoge en una cavidad cilíndrica abierta al pie de aquella, y la producción diaria es de 500 kg.

Aunque estos hornos han funcionado gracias a la acción de unos ventiladores movidos a mano, y colocados en la parte superior, se ha ensayado la acción producida por una chimenea de 20 m. de altura y diámetro adecuado para obtener la depresión necesaria.

Los hornos *Claret* de los que volveremos a ocuparnos al tratar del Coto Menor de Hellín, son cerrados y tienen un hogar en la parte inferior, estando provistos de una chimenea interior, que no llega a alcanzar la bóveda que cierra el horno, y de una galería circular de condensación, que sirve también para calentar los humos. Dichos hornos tienen 3,40 m. de diámetro interior y una altura total de 8 m., contando la galería circular inferior, a la cual pasan los humos gracias a seis tragantes inferiores, dispuestos en el paramento interior del horno. Cada uno de éstos cargaba 50 toneladas de mineral que rendían 6 de azufre de primera fusión.

Más tarde, este azufre bruto sufría una destilación, bien en retortas grandes si había de producirse la *flor de azufre*, condensando los vapores en grandes cámaras de mampostería, o en ollas pequeñas, cuando se trataba de obtener el azufre refinado.

La historia de la Serrata puede considerarse dividida en tres períodos; durante el primero, que comprende desde el año 1853 al 1865, se demarcaron las concesiones «Julio César», «Angelita», «Santa Cruz de Caravaca», «Divino Pastor», «La Perla», «San Luis» (actualmente «Sagrado Corazón de Jesús»), «Por si acaso», «Segunda Esperanza», «Segunda Virgen de las Huertas», «Dos amigos inseparables» y «Tercera Rosalía». En

esta época se efectuó el descubrimiento de la primera capa, llevándose a cabo sobre ella labores de buen aprovechamiento.

En el segundo período, que abarca desde 1866 hasta 1896, quedó ocupada la mayor parte de la superficie que comprende el afloramiento de azufre, por haberse demarcado durante él el Coto Felicidad y diversas minas. En este tiempo tuvo lugar el descubrimiento de la segunda capa, continuando el laboreo beneficioso tanto, en ésta como en la primera; pero llegó un momento en que no teniendo éxito los trabajos que se realizaban en diferentes minas, comenzó el período de abandono.

A partir de 1897, la Sociedad Franco-Española, propietaria del Coto Felicidad, comenzó a adquirir las concesiones que iban caducando cuya superficie total se elevó a 378 hectáreas, y unidas éstas a las 360 del Coto, rinden un total de 760 hectáreas, después de agregar la superficie de varias demasías.

En los años 1916 y 1917 demarcó cinco minas y siete demasías la Sociedad Unión Española de Explosivos, cuya superficie total llega a 676 hectáreas. De esta manera ha sido demarcada la superficie total de la Serrata y buena extensión al N. de ella.

Las explotaciones se han llevado a cabo hasta hace poco por tres empresas mineras, que poseen también elementos propios para efectuar la fusión y el refinado del azufre contenido en las menas. Dichas empresas son: La Compañía Franco-Española, dueña del Coto Felicidad; la Española, que efectuaba la explotación de las concesiones «La Casualidad», «Esperanza Segunda» y «San Juan Bautista», y la Compañía general de Azufres de España, que trabaja las minas «El León», «Clemencia» y «Por si acaso».

La Compañía Franco-Española ha explotado en los últimos tiempos las concesiones «San Emilio» y «Sagrado Corazón de Jesús», situadas en el cruce de la Serrata con la carretera de Caravaca. La explotación se ha efectuado gracias a dos galerías descendentes de 1,90 por 1,20 metros, por 80 a 150 metros de longitud respectivamente, que con una inclinación de 25° se dirigen al NW. Estas trancadas, cuyas bocas se hallan en la falda E. de la Serrata, estaban ventiladas artificialmente por la acción de unas chimeneas de palastro de forma circular, que aspiraban por su extremo inferior el aire de las galerías, el cuál era conducido por medio de tabiques colocados en las partes laterales.

El techo de la segunda de dichas trancadas, está constituido por yeso y una arenisca, que ha recibido el nombre de *molinera*; sobre estas rocas existe otra arenisca, denominada *hormigón*, y sobrepuestas a ésta, unas pizarras margosas de hojas delgadísimas.

La extracción de las menas se llevaba a cabo con muchachos o *gavias* que, con las espuestas cargadas, ascendían por las referidas trancadas, y el desagüe se efectuaba por medio de cubas que circulaban en un pozo de sección elíptica, cuyos ejes son de 3 y 2 metros y cuya profundidad llega a 107 m. La ventilación en este sitio se ejercía por medio de un ventilador mecánico que aspiraba el aire del pozo gracias a un compartimiento separado de él por un tabique de mampostería.

En la concesión «Santa Cruz de Caravaca», situada cerca del Puerto, se han explotado dos capas paralelas de azufre llamadas, respectivamente, lastra de arriba y lastra de abajo, que se hallan separadas por una distancia vertical de 12 m. El campo de labor se extendía en una longitud de 75 m. a

ambos lados de la galería general de transporte, que se dirige al N., y la explotación se realizaba en seco por medio de labores de 0,50 m. de altura y banqueos de 4,50 m., efectuando una rozadura debajo de la capa, que más tarde se hacía saltar por medio de barrenos de pólvora.

La extracción se hacía por un pozo elíptico de 120 m. de profundidad, provisto de un torno accionado por motor eléctrico, en cuyos tambores se arrollaban los cables redondos de acero de 16 mm. de diámetro.

La ventilación era también artificial y se conseguía estableciendo conductos de salida del aire confinado por medio de tabiques de mampostería locados en el pozo y en la galería.

El acceso del personal a los trabajos interiores lo permitía una trancada que, partiendo de la superficie en un punto situado en la vertiente E. de la Serrata, va a unirse con el pozo.

El beneficio de las menas de azufre, se efectuaba por una primera fusión en hornos *calcaroni* y *Gil Ruiz*, de los que ya nos hemos ocupado, y refinando el azufre bruto por destilación en un horno de 16 ollas de hierro fundido. Estas ollas, están dispuestas en dos filas separadas por la cámara de fuego que es común a todas y sus cuellos van a enchufarse a dos tubos de hierro exteriores y paralelos, que llevan los vapores de azufre a dos cámaras cerradas independientes que conservan este cuerpo en fusión durante el funcionamiento del horno.

El azufre líquido sale de estas cámaras para ir a dos balsas de enfriamiento o a un tablero de madera horizontal de ocho lados, provisto de 22 agujeros en cada sector. En estos agujeros van alojados los moldes cónicos de madera que dan al azufre la forma de çanutos. A medida que estos moldes se

iban llenando, se hacía girar el tablero sobre un eje vertical, a fin de colocar otros vacíos que eran llenados a su vez con el azufre procedente del horno.

Para la obtención de la *flor de azufre* se han empleado cámaras de mampostería ligera de 22 m. de largo por 4,5 m. de ancho y 8 m. de altura, con techos planos de ladrillo que ofrecen cierta inclinación. En estos techos existe una válvula cuadrada de chapa de hierro que puede ser abierta hacia afuera a fin de permitir la salida del aire caliente cuando comienza el funcionamiento.

Estas cámaras están provistas de dos puertas, que se enlucen con yeso y permanecen cerradas mientras se verifica la destilación; pero cuando termina ésta se abren, para dejar paso a las vagonetas de hierro que cargan la flor producida y la conducen a los almacenes.

Cada cámara está servida por un par de retortas de hierro fundido y forma de bóveda rebajada, cuyo espector es de 4 cm. En su frente existe una pequeña puerta, que sirve para la limpieza y descarga de los residuos del azufre, y en el lado opuesto se halla el cuello de 1,50 m. de longitud que lleva a las cámaras los vapores de azufre.

La pareja de retortas se caldea por un hogar inferior común y el calor radiado por aquéllas se aprovecha asimismo para la fusión del azufre bruto, que se coloca en un pequeño recipiente de chapa de hierro, situado sobre el macizo que forman ambas. De este modo, el azufre ya líquido puede pasar al interior de la retorta por un tubo de hierro que arranca del fondo del depósito, cuyo fondo está obturado por un tapón que puede manejarse desde arriba por medio de una varilla de hierro. Un par de retortas, llegaba a destilar hasta tres toneladas de azufre de primera fusión en veinticuatro horas.

Para la obtención de la energía necesaria a los diferentes servicios, se construyó una central eléctrica que cuenta con dos motores de gas pobre de 60 HP, unidos a dos gasógenos, y otro motor de gasolina de 7 HP. Estos motores se halla acoplados a otros tantos alternadores trifásicos de 50, 20 y 4,5 kva. que daban en total los 54 HP exigidos por las necesidades de la explotación y de la fábrica. La central cuenta, como es lógico, con un cuadro de mármol en el que van insertados los amperímetros, voltímetros, interruptores y todos los elementos necesarios para el funcionamiento, estándole además provista de las disposiciones de protección precisas.

Con la energía así transformada, han podido modificarse los servicios, que se efectuaban en forma rudimentaria, resolviéndose el problema de la escasez de obreros que en ciertas épocas puso a la Compañía en situaciones graves, originando verdaderas crisis en la marcha de los trabajos.

Como instalaciones accesorias existen dos molinos de piedras, accionados por electromotores de 7 HP, un taller de herrería y fragua, almacenes, oficinas y diversas edificaciones. La fábrica es capaz de producir doce toneladas diarias de azufre comercial, aunque en realidad ha faltado siempre materia para esta producción.

La Sociedad la Española ha explotado, como ya hemos dicho, las concesiones denominadas «Esperanza Segunda», «La Casualidad» y «San Juan Bautista».

En la primera de estas minas, situada al SW. del Puerto, existe un pozo de 145 m. de profundidad, llegando hasta la segunda capa, única que se ha explotado verificando la extracción por el referido pozo.

La concesión «La Casualidad» posee también un pozo situado en la falda W. de la Serrata, cuya profundidad de 112

metros le hace alcanzar la primera capa, y cuenta asimismo con una trancada abierta en la vertiente SE. de la citada sierrrecilla.

Las labores de explotación poseen una altura de 0,60 m. y la extracción se verificaba con gavias que ascendían por la trancada antedicha, cargando un quintal en cada viaje.

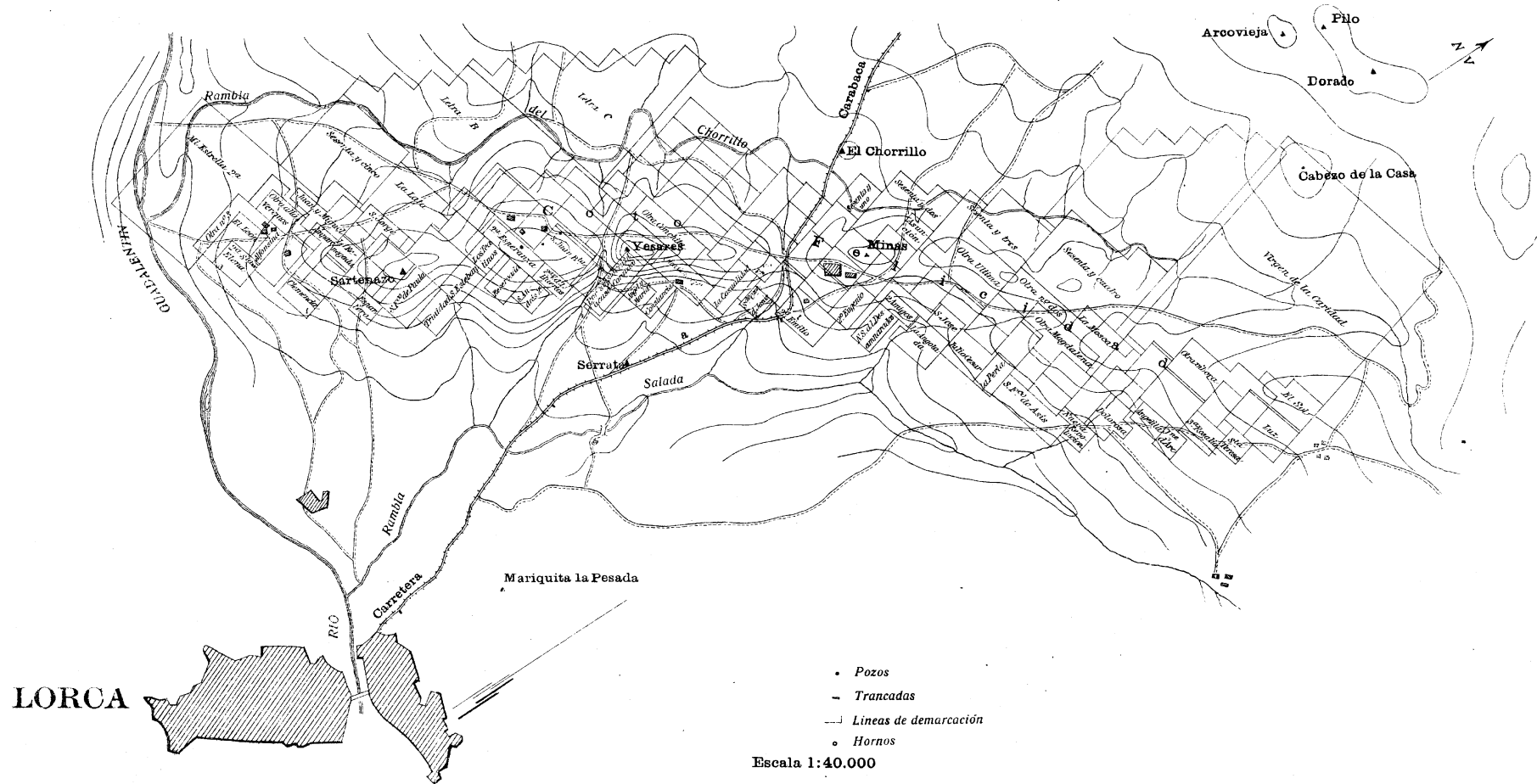
En la mina «San Juan Bautista», donde se produjo, como ya hemos indicado, la explosión de gases inflamables en el año 1900, existía un malacate y un torno de vapor horizontal para el desagüe de las labores de explotación de la segunda capa, que se encuentran a 160 m. de profundidad.

Las menas procedentes de estas minas eran tratadas en hornos *calcaroni* y el azufre producido se refinaba en seis retortas de hierro fundido en forma de cilindro vertical de 0,70 m. de diámetro por 1,35 m. de altura, dispuestas en un macizo. Los vapores sulfurosos eran recogidos por un tubo colocado en el costado de las retortas, que los llevaba a la cámara de condensación. La duración de la hornada era de cinco días de fuego y uno de enfriamiento, y la carga de 3 toneladas por día y retorta, se efectuaba cada seis horas.

La Compañía General de Azufres de España trabajaba las minas «El León», «Clemencia», «Por si acaso», y algunas otras de la zona SW. de la Serrata. En esta parte, el mineral es muy bituminoso, siendo la dirección de los estratos E.-15°-N. y el buzamiento NW. La zona superior está formada por yesos que tienen una potencia de 38 m., y debajo de ellos se encuentran las margas azules.

En la última de las concesiones citadas existe un pozo de 125 m. de profundidad, y las labores de explotación se hallan sobre la primera capa, aunque existen otras cuatro más, separadas sucesivamente por intervalos de 19, 11, 8 y 7 m.

ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS
DE AZUFRE DE MURCIA Y ALBACETE
por José Meseguer
Ingeniero de Minas
SERRATA DE LORCA.
PLANO DE LA SUPERFICIE



Todas las concesiones que no tienen nombre especial estarán comprendidas en el rótulo "Coto Felicidad"

no muy grande, podría llegarse sin gastos elevados a descubrimientos de verdadera importancia.

§ IV.—Minas de Abarán.

Las minas de azufre del término de Abarán en la provincia de Murcia, se hallan situadas en el valle del Boquerón, a 6 kilómetros al NE. de la sierra de la Pila, en la línea de contacto del eoceno inferior, según el Mapa Geológico oficial, con la formación pleistocena por donde discurre la carretera de Murcia a Jumilla y Yecla. Esta vía de comunicación cruza el ferrocarril de Chinchilla a Cartagena en la estación de Blanca-Abarán y debe seguirse en carruaje para llegar a las minas, abandonándola después de recorridos 8 kilómetros, por un camino de carros situado a la derecha de la misma, un poco por delante de la Venta de Pata.

El terreno de las concesiones ofrece débil relieve y se halla a 80 m. sobre la estación del ferrocarril que hemos mencionado. Dicho terreno se encuentra en la falda N. de la sierra de la Pila y de la de Quivas que constituye su prolongación oriental, y al N. de la casa de la mina se eleva ligeramente, dando lugar a una loma redondeada. Más al N., y a unos 20 kilómetros de distancia, se levanta la sierra del Carche, que llega a alcanzar 1.371 m. de altitud.

El yacimiento se extiende en dirección E.-30°-S. por una serie de cabezos, entre los que sobresale el denominado del Yesarico o de las Liebres, que sirvió para el descubrimiento del azufre al notar que en un horno de yeso se desprendían abundantes vapores de ese metaloide.

La primera capa sulfo-yesosa reconocida, tiene una dirección E.-40°-S., buzamiento NE. y fuerte inclinación que pasa

de los 45°. La potencia, que llega a 3 m. en algunos sitios, es siempre bastante grande y el azufre suele aparecer en nódulos que se presentan en proporción de 12 por 100 en bruto. Por encima de esta capa, que suele ofrecer también materias bituminosas, se encuentra otra de pizarra de 1 m. de espesor, recubierta por una caliza arcillosa muy potente.

Sobre el mencionado cabezo del Yesarico se halla el punto de partida de la mina «San Jerónimo», que con las «San Damián», «Antonio Marín» y otras, constituye el grupo de concesiones demarcadas. En la falda N. de este cabezo se perforó un pozo en el que a los niveles 25, 44 y 58 metros, se emboquillaron galerías que cortaron el azufre. Tanto el pozo como las galerías se hallan faltos de dirección y método.

Los trabajos, desde el afloramiento, están constituidos por una trancada que comienza en el centro de la concesión «San Jerónimo», próximamente. Esta labor, que posee una longitud de 35 m. y tiene por techo el pendiente de la capa explotada, dió a conocer que hacia los 30 m. de profundidad aproximadamente no comienza a encontrarse mineral de buena calidad.

En la parte inferior de esta labor existe una galería de 300 m. que comunica con los pozos de extracción, uno occidental denominado de «San Jerónimo» y otro situado al E., que recibió el nombre de «San Joaquín». El primero de ellos cortó la capa a 60 m. de profundidad y el segundo, a los 26. Un tercer pozo, llamado «San Enrique», de 50 m., no ha cortado en cambio dicha capa.

En la actualidad acaba de perforarse un pozo malacate denominado «San Eduardo», de 83 m. de profundidad, cerca de la línea N. de la concesión «San Jerónimo». Este pozo, después de atravesar la capa azufrosa ya reconocida, que se

presenta en esta parte casi en estéril y en posición horizontal, ha puesto de manifiesto una nueva capa que aparece asimismo sensiblemente horizontal, con una potencia de 4 a 5 metros y gran mineralización.

Las labores para la explotación de esta capa, recientemente descubierta, quedan, como puede suponerse, completamente independientes de las realizadas sobre la capa superior, no existiendo más comunicaciones que las precisas para el establecimiento de la ventilación necesaria.

El beneficio de las menas se lleva a cabo por fusión directa en seis hornos *Claret* de 5,50 m. de altura hasta la clave de la bóveda y 3,50 m. de diámetro interior, empleándose como combustible la leña de pino en la proporción de 1.500 kg. por hornada. En cada fundición se cargan 45 ó 50 toneladas de mineral, que producen 5 a 8 de azufre de primera fusión, de calidad bastante buena. Cada hornada comprende diez días de fuego y otros cinco que se emplean en el enfriamiento, descarga y nueva carga del horno.

De las labores de reconocimiento y explotación practicadas en ambas capas, y no obstante que dichas labores se hallan circunscritas a un área poco extensa, se deduce lógicamente que la cantidad de mineral contenido en la demarcación es bastante elevada, a pesar de las pequeñas dimensiones del conjunto y de que los pliegues de las capas pudieran arrojarlas fuera de los límites, caso este último poco probable.

Esta cantidad de mineral, que se presume, puede aun resultar muchísimo mayor si se tiene en cuenta que dadas las condiciones geológicas del terreno, es harto verosímil la continuidad del yacimiento tanto en dirección como en profundidad.



§ V.—Coto de Hellín.

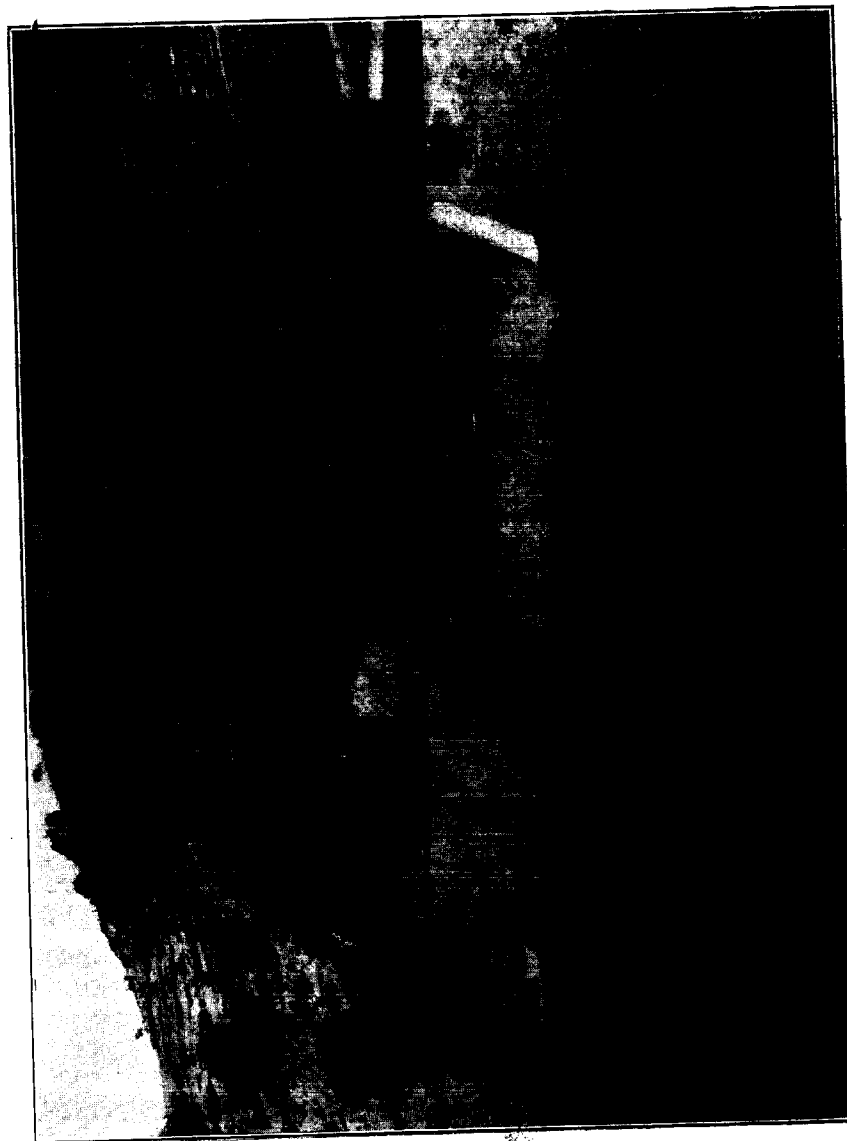
El Coto Menor de Hellín, se halla situado en el término de este nombre de la provincia de Albacete, en las inmediaciones de la orilla izquierda del río Segura y al N. de la confluencia de éste con el Mundo, siendo la extensión concedida de 900 hectáreas. Está separado del ferrocarril de Chinchilla a Cartagena por el citado río Mundo, que discurre en dirección S. SW. hasta unirse con el Segura a muy poca distancia al W. del ferrocarril.

Como ya hemos indicado al estudiar la geología de esta zona, las capas del yacimiento, paralelas y con ciertas ondulaciones, tienen una dirección de conjunto N.-20°-W.; inclinación variable entre 15 y 25°, y buzamiento W.-20°-S. No obstante ser conocido el yacimiento desde una época muy remota, la escasez de investigaciones es causa de que todavía no se hallen bien limitados los contornos de las capas en su parte explotable, ni se conozca tampoco de un modo definitivo la extensión y naturaleza de la formación azufrosa en los alrededores del Coto.

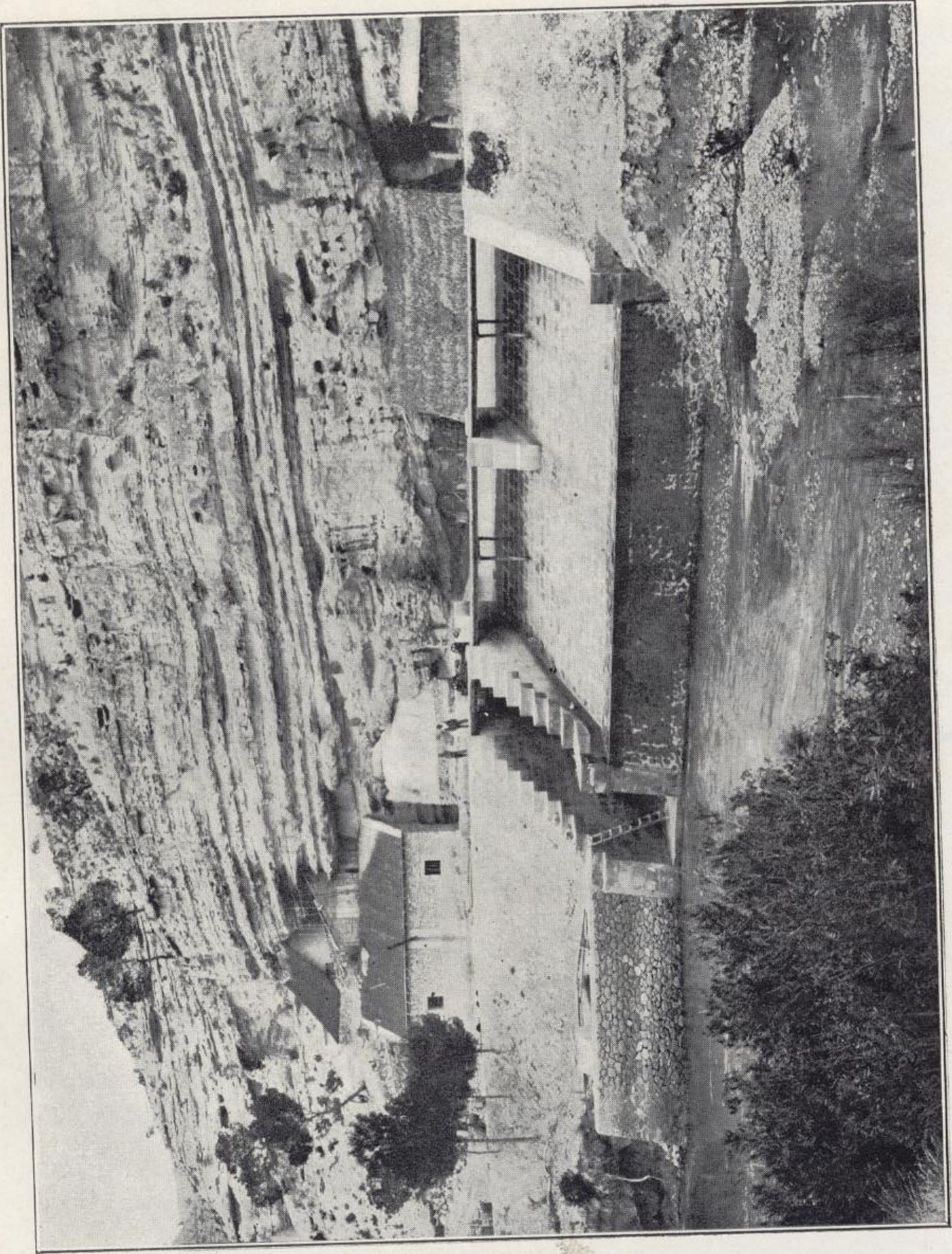
El número de los estratos explotables, sus espesores, las distancias que los separan y el contenido en azufre, varían de unos sitios a otros. Gracias a los trabajos efectuados en los pozos «San Javier», «Alfonsito», «San Rafael» y «San Enrique», que han atravesado la formación en zonas donde aparece con caracteres de gran regularidad, puede tenerse idea de la sucesión de las diversas capas cuyos nombres y espesores, procediendo de arriba abajo, son los siguientes:

1. Harpillera.
2. Pata de Gallina.
3. Guijarro rico.
4. Florido de la Concha.

Grupo 1.º: Potencia = 1,50 m.



Coto menor de Hellín.—Afloramientos de las capas.



Coto menor de Hellín.—Afloramientos de las capas.

- a) 0,70 a 2 m. de estéril.
5. Guijarro. }
 b) Materias bituminosas. } Grupo 2.º: Potencia=0,90-1,40.
 6. Concha. }
- c) 3 m. de estéril.
7. Florido Jaspeado. }
 8. Venilla. } Grupo 3.º: Potencia=0,90-1,20.
 9. Bastarda. }
 10. Jaspeada. }
- d) 3. m. de estéril. }
 11. Florido gatuna. } Grupo 4.º: Potencia=0,90-1,25.
 12. Tabletillas. }
 13. Andresa. }
 14. Gatuna. }
- e) 22 m. de estéril.
15. Cuarta: Potencia=0,60-0,70 m.
- f) 7 m. de estéril.
16. Quinta: Potencia=1,50 m.
- g) 13 m. de estéril.
17. Sexta: Potencia=0,70 m.
- h) 7 metros de estéril.
- 18 Séptima: Potencia=0,50 m.; casi en estéril.
- i) 8. m. de estéril.
19. Octava: Potencia 0,55 m.

Las concesiones del Coto Menor de Hellín han sido explotadas desde la época romana. Se han encontrado bastantes herramientas y objetos de barro; D. Rafael Amar cita el hallazgo de dos esqueletos y en la zona explotada en la actualidad aun suelen aparecer restos de la madera empleada para la entibación. El laboreo se efectuaba mediante pozos y galerías de pequeñas dimensiones y estaba limitado a una capa donde el azufre se presentaba en yemas con gran estado de

pureza. Después de molido era utilizado por la industria sin refino de ningún género.

Desde esta lejana época debió transcurrir un dilatado espacio de tiempo sin que se llevara a cabo laboreo de ninguna especie, pues faltan por completo indicios de trabajo hasta el 2 de Julio de 1562 en que se dió provisión para que Alonso de Monreal y Juan Sánchez de Buendía pudiesen beneficiar ciertas minas de *alcrebite* (azufre) en los términos de Hellín y Moratalla (1). Pocos años después, el 6 de Mayo de 1589, se verificó la incorporación a la Corona de las minas y fábricas de azufre que en Hellín poseía Francisco de Monreal (2), continuando las concesiones sin explotación regular y dedicándose el azufre producido a la fabricación de la pólvora.

El laboreo se verificaba a cielo abierto, efectuando una excavación de 25 a 30 varas, según la profundidad a que se hallaban las capas, y el campo de explotación anual era de 2.000 varas cuadradas (un hoyo) que debía quedar terminado en el plazo de 140 días para comenzar otro en la campaña siguiente. Se perdía por consiguiente el trabajo hecho, si durante el indicado plazo no se había alcanzado el azufre y se consideraba como labor en estéril aun cuando sólo faltaran pocas varas para llegar al mineral. Cada hoyo quedaba rellenado con las tierras producidas por el que se emprendía inmediatamente. El mineral producido se transportaba por caballerías a un taller donde mediante el estrío quedaba reducido al 48 por 100 y mas tarde era fundido en crisoles de barro (hoyas) calentados en hornos de galera que se alimenta-

(1) Botella, ob. cit.

(2) González, *Registro general de minas de la Corona de Castilla*.—Gallardo Fernández, *Origen, progreso y estado de las rentas de la Corona de Castilla*.

ban con leña procedente de los bosques de pinos que existían en la superficie del Coto.

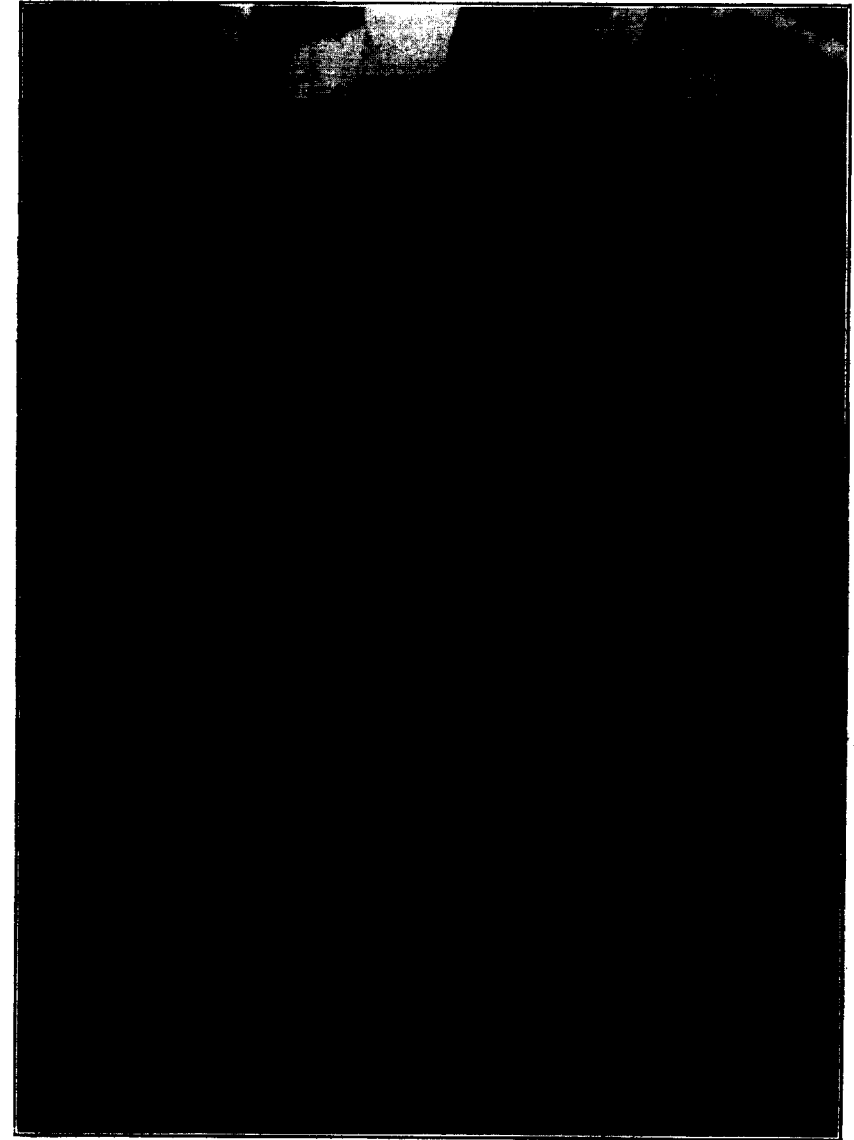
Esta explotación que el Estado realizaba para hacer efectivo el monopolio del azufre, era, como puede presumirse, costosísima, pues solamente el arranque de la montera del yacimiento representaba más de veinte veces el valor de las labores de disfrute, y así, no es de extrañar que fueran arrendadas las demarcaciones en 1818.

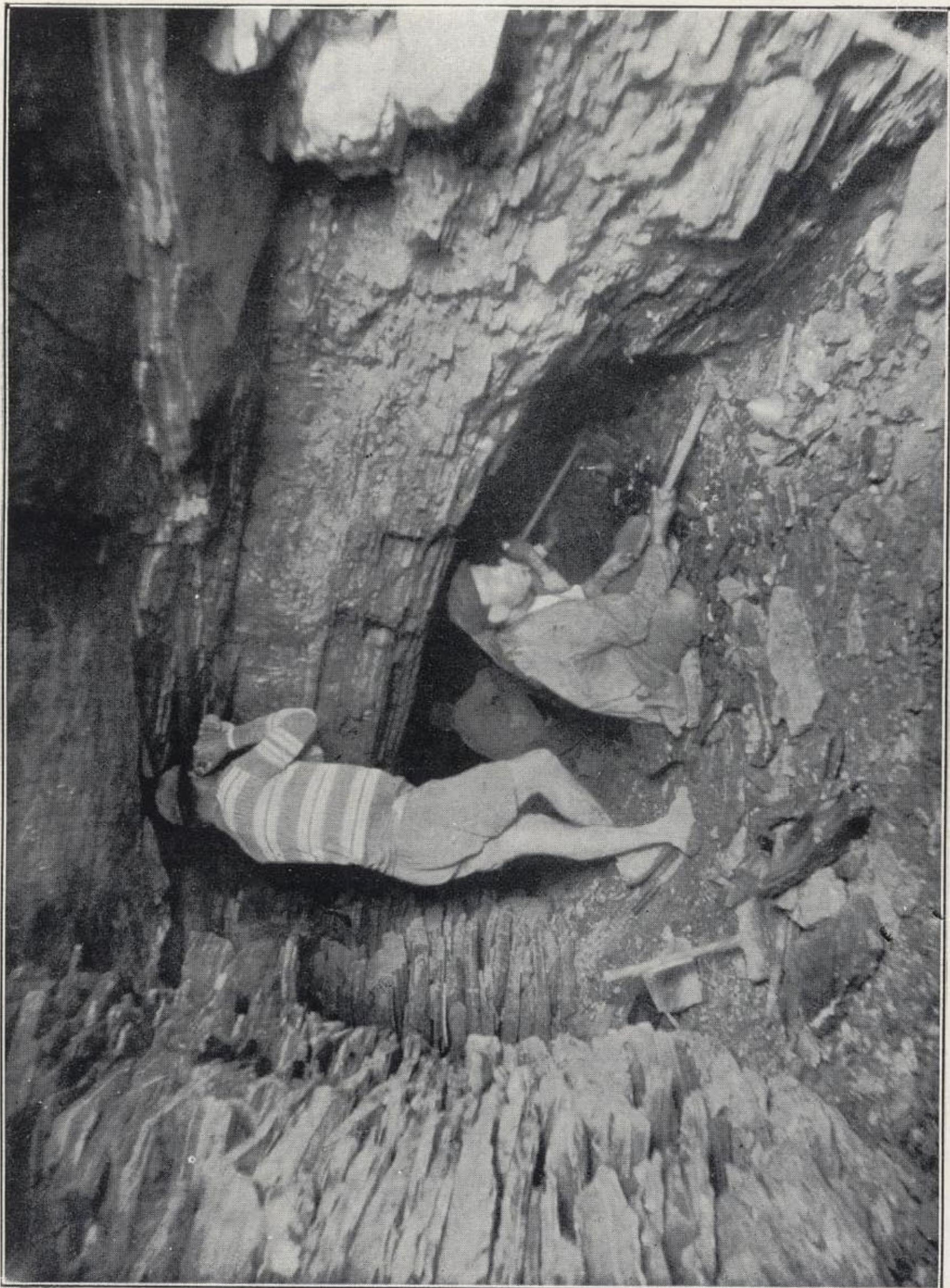
Estas concesiones quedaron exceptuadas de la desamortización, y por último, en Septiembre de 1870, fueron vendidas a Carlos Ross Fell, que constituyó la «Hellin Sulphur Company Limited», domiciliada en Londres. Esta Sociedad, con mejores deseos que conocimientos sobre la índole especial de los yacimientos, llegó a desembolsar más de un millón de francos con una administración tan desdichada que faltó poco para su total quiebra, y a fin de evitarla, un pequeño grupo de accionistas unidos con las obligaciones, formaron otra denominada «The Coto Menor Sulphur Company Limited» que tampoco obtuvo el buen resultado que merecían, tanto sus trabajos como los enormes gastos que llegó a efectuar, los cuales excedieron de 80.000 £. A esto fué debida la venta a favor de D. Manuel Salvador López, quien formó la «Sociedad Minero Industrial del Coto de Hellín», la cual, voluntaria y ventajosamente, liquidó su negocio del que se hizo cargo en 28 de Diciembre de 1901, la «Azufrera del Coto de Hellín», Sociedad Anónima domiciliada en Bilbao, que al año siguiente se trasladó a Madrid. Ultimamente fueron vendidas las minas en pública subasta, siendo adquiridas como consecuencia de ésta, por el Banco de Cartagena, y algunos particulares que han constituido la actual sociedad explotadora, que se denomina «Coto Minero de Hellín» y tiene en Madrid su domicilio.

El primitivo laboreo, ya desaparecido, consistía en la apertura de un pozo provisto de torno o malacate de mula, según la profundidad a que había que extraer el mineral arrancado en una zona alrededor del pozo, cuyo radio no excedía generalmente de 60 o 70 metros. Con este sistema no podía llevarse método regular alguno y únicamente se tenía la precaución de no dejar abandonada alguna masa de mineral de cierta importancia. Antes de concluir una zona, o según las necesidades de la industria, se procedía a abrir un nuevo pozo próximo al anterior y de esta manera se ahorra la construcción de galerías de transportes y se reducía la extracción de cada pozo, con lo cual existía asimismo una gran economía de maquinaria. Todo ello, junto con la baratura de la construcción de los pozos, hacía el sistema aceptable en la época en que se llevó a cabo.

Al avanzar en el sentido del buzamiento de las capas, fué necesaria la adquisición de una pequeña máquina de extracción, pero el aumento de producción y la mayor profundidad, como el haberse alcanzado de lleno la zona dominada por las aguas, exigieron el abandono del sencillo método antiguo y la adopción de otro racional que, permitiendo luchar con las aguas, fuera lo suficientemente económico para que la industria pudiera soportar el coste del mineral arrancado.

El plan que se llevó a la práctica fué la extracción en pozos maestros, con jaulas guiadas que elevaban una vagoneta y estaban accionadas por motor eléctrico. De cada pozo partían galerías generales de transporte según la dirección de las capas, de 2 m. por 1,90 m. y por ellas se hacía el acarreo mediante vagonetas sobre carriles desde las galerías transversales hasta el pozo. El denominado «San Javier» ha funcionado de esta manera, llevándose los frentes según el buzamiento y





Coto menor de Hellín.—Arranque de una capa.

efectuando el arranque por medio de una roza practicada en el lecho de marga más blanda (techo o muro, según la capa) y derribando más tarde con dinamita el banco formado. El relleno se hacía a medida que avanzaban los frentes de tajo, procurando dejar el menor espacio posible entre estos y los correspondientes al primero, y de esta manera se economizaba la madera para la entibación.

En la actualidad existen en servicio tres pozos denominados «San Enrique», «Alfonsito» y «San Rafael» y se están realizando los trabajos necesarios para poner otra vez en servicio el «San Javier», que ya hemos mencionado.

El primero de estos pozos tiene forma rectangular, siendo sus dimensiones 2,5 por 3 m. y cuenta con una profundidad de 80 m. llegando hasta la octava capa. La extracción se lleva a cabo por medio de jaulas guiadas de hierro, capaces para una vagoneta, que van sujetas a la extremidad de un cable plano de acero de 70 mm., que se arrolla en las bobinas de una máquina de extracción accionada por un motor asíncrono trifásico AEC de 500 voltios, 56 amperios, 50 períodos, 725 revoluciones por minuto y 50 HP.

A partir del punto en que este pozo corta a la octava capa y con rumbo S. próximamente, parte en el sentido ascendente de ella un plano inclinado automotor, de 138 m. de longitud, que llega hasta cerca del frente de arranque. A derecha e izquierda de la cabeza de este plano existen dos traviesas que se dividen y subdividen en otras vías secundarias. Todas ellas van a parar al frente de explotación de la capa, que forma una faja continúa de 0,70 a 1 m. de altura.

El mineral es arrancado por medio de rozaduras a pico, haciendo saltar la capa con barrenos de dinamita, y el techo se hace caer por medio de punteros hasta obte-



ner la altura de excavación de 0,70 a 1 metro antes mencionada.

El indicado techo se sostiene provisionalmente por medio de una entibación de madera, que es substituída más tarde por el relleno del estéril producido, cuyos trozos más gruesos sirven para construir el muro en seco necesario a la contención de los escombros.

El transporte del mineral arrancado se verifica por las galerías secundarias, en vagonetas que van a la cabeza del plano inclinado, y llegadas a éste, descienden por él hasta alcanzar el enganche del pozo.

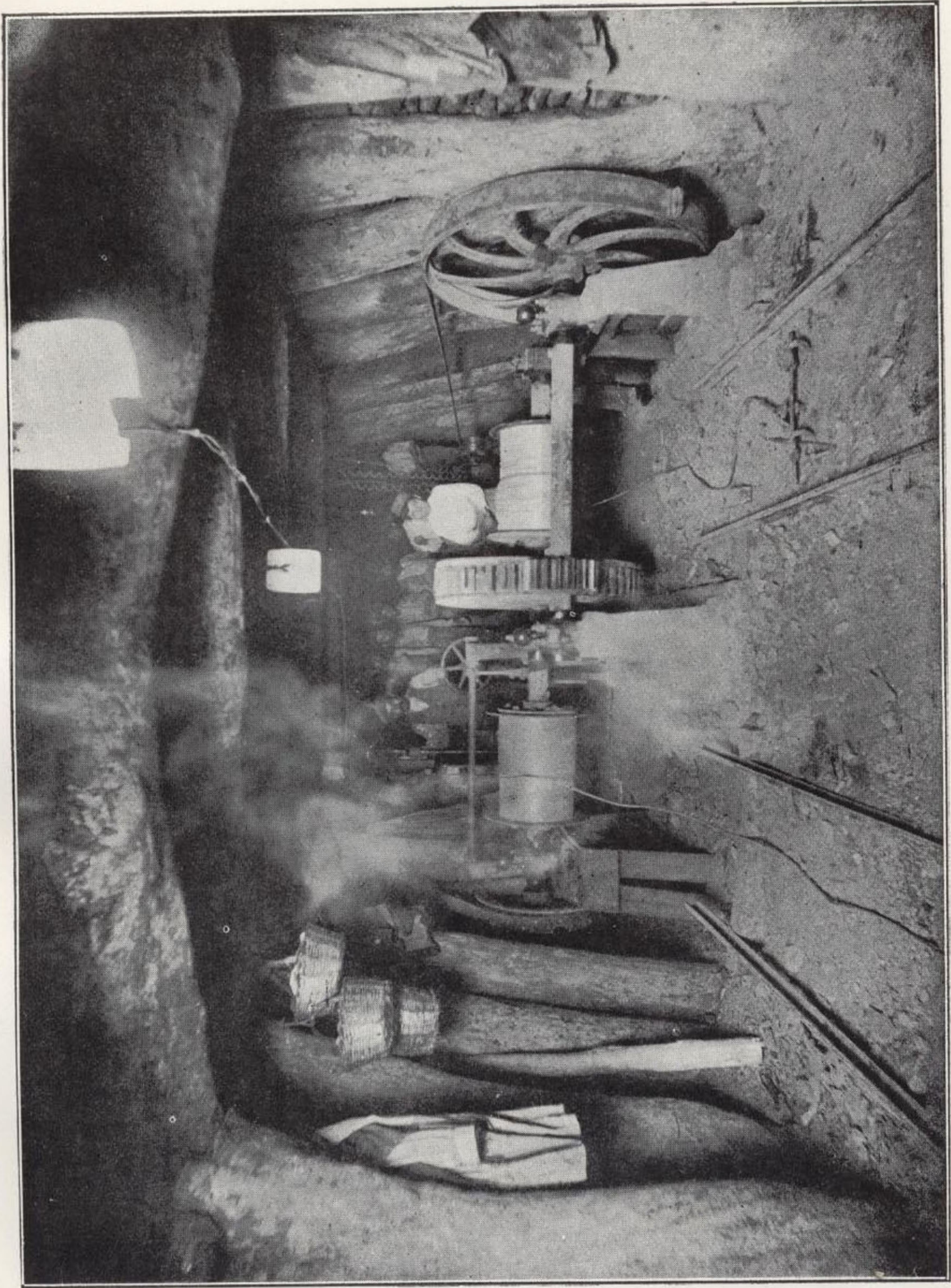
El que lleva por nombre «Alfonsito», tiene forma rectangular de 3 m. por 2 m. y una profundidad de 85 m. que le hace llegar también a la octava capa. Por él circulan jaulas guiadas de hierro que elevan una vagoneta. El cable plano de acero tiene 100 mm. y se arrolla en las bobinas de la máquina de extracción que está accionada por un motor trifásico de inducción de la General Electric C.º, de 500 voltios, 57 amperios, 50 períodos, 750 revoluciones por minuto y 50 HP.

De este pozo arranca también en dirección N. NW, y según la parte ascendente de la capa, otro plano inclinado automotor de 130 m. de longitud, que llega hasta muy cerca del frente de aquélla. La explotación es análoga a la que se efectúa en la zona de «San Enrique».

El pozo denominado «San Rafael», por último, tiene forma rectangular con dimensiones de 2 m. por 3 m. y una profundidad de 82 m. que al igual de los anteriores, le hace alcanzar la octava capa. Se efectúa la extracción por medio de cubas sin guiar, accionadas por una máquina de extracción en cuyos tambores se arrolla el cable, redondo, de acero, de 20 mm. de diámetro. Dicha máquina se halla también accionada por



Coto menor de Hellín.—Cabeza de un plano inclinado.



Coto menor de Hellín.—Cabeza de un plano inclinado.

un motor asincrónico AEG de 500 voltios, 34 amperios, 50 períodos, 720 revoluciones por minuto y 30 HP.

También comienza en éste otro plano inclinado automotor de 110 m. de longitud, que se dirige en el sentido ascendente de la capa, hasta llegar al frente de ésta. La explotación se lleva a cabo de igual modo que en los pozos ya descritos.

En todos los frentes actualmente en explotación la humedad es bien escasa, no constituyendo un estorbo para los trabajos. Sin embargo, suelen aparecer las aguas en determinadas labores, bien procedentes de la lluvia o de filtraciones del Segura a través de las capas calizas y margosas permeables. Estas aguas son sumamente sulfhídricas y a su alumbramiento desprenden hidrógeno sulfurado y anhídrido carbónico. Cuando se ponen al contacto del aire, el primero de estos dos gases sufre una oxidación lenta que le transforma en anhídrido sulfuroso y así las aguas ofrecen bien perceptiblemente el olor característico de este cuerpo, al propio tiempo que depositan en los canales ciertos residuos de azufre extendidos en ligeras capas.

El desagüe se lleva a efecto por medio de bombas centrífugas accionadas eléctricamente. En las labores de la octava capa, correspondientes a la zona de «San Enrique», existe una de estas máquinas que pueden elevar 300 litros por minuto a 17 m. de altura, con 1.460 revoluciones en igual período de tiempo, estando accionadas por un motor trifásico de 4 HP. En la zona correspondiente a este mismo pozo, y cerca de la galería situada sobre la capa cuarta, que le comunica con el «San Javier», se halla otra centrífuga capaz de elevar 350 litros por minuto a 60 metros de altura, dando 1.460 revoluciones y consumiendo 30 HP. a 500 voltios. Las aguas elevadas por estas dos bombas son recogidas nuevamente por otra

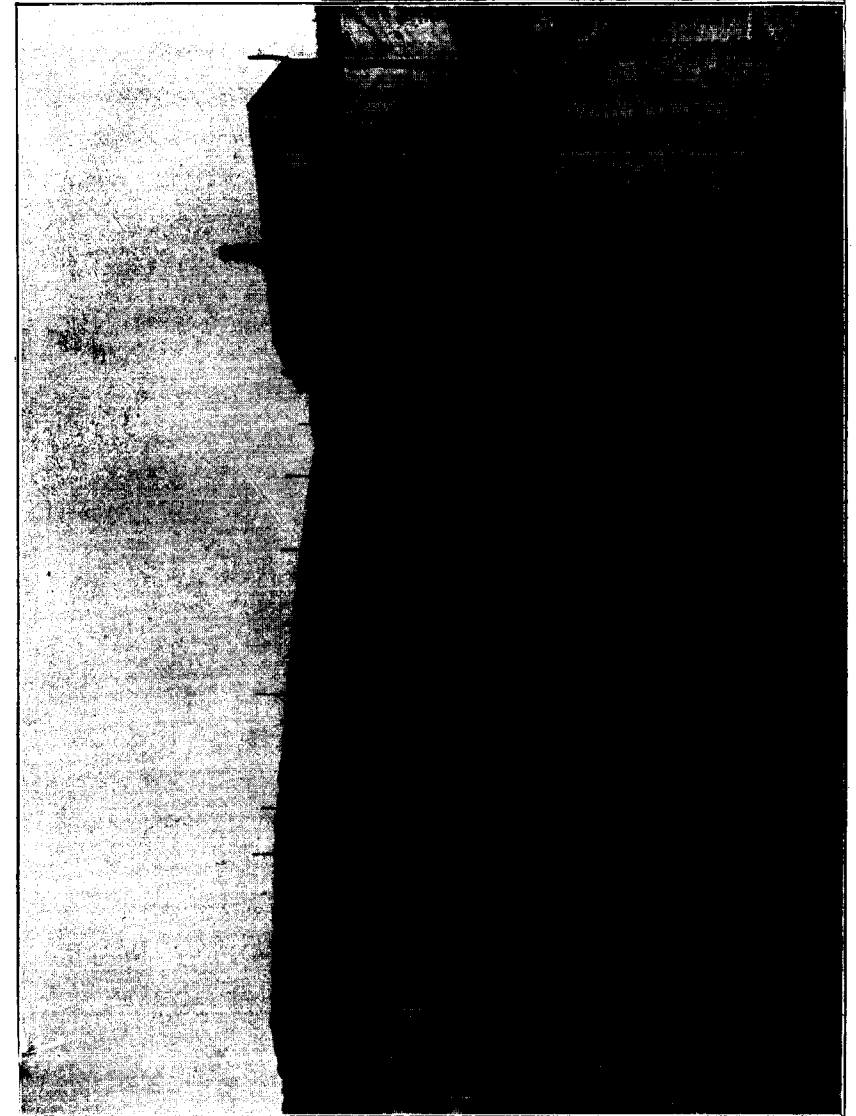


centrífuga situada en el pozo «San Antonio» al nivel de la capa conocida con el nombre de gatuna. Esta bomba, que se halla accionada por un motor trifásico de inducción, y puede elevar 120.000 litros por hora a 100 metros de altura, lleva las aguas al exterior por medio de una tubería de hierro de 200 mm., que a 20 metros por debajo de la boca del pozo, va por una galería hasta dar salida a las aguas por el barranco La Esperanza, de donde descienden al Segura.

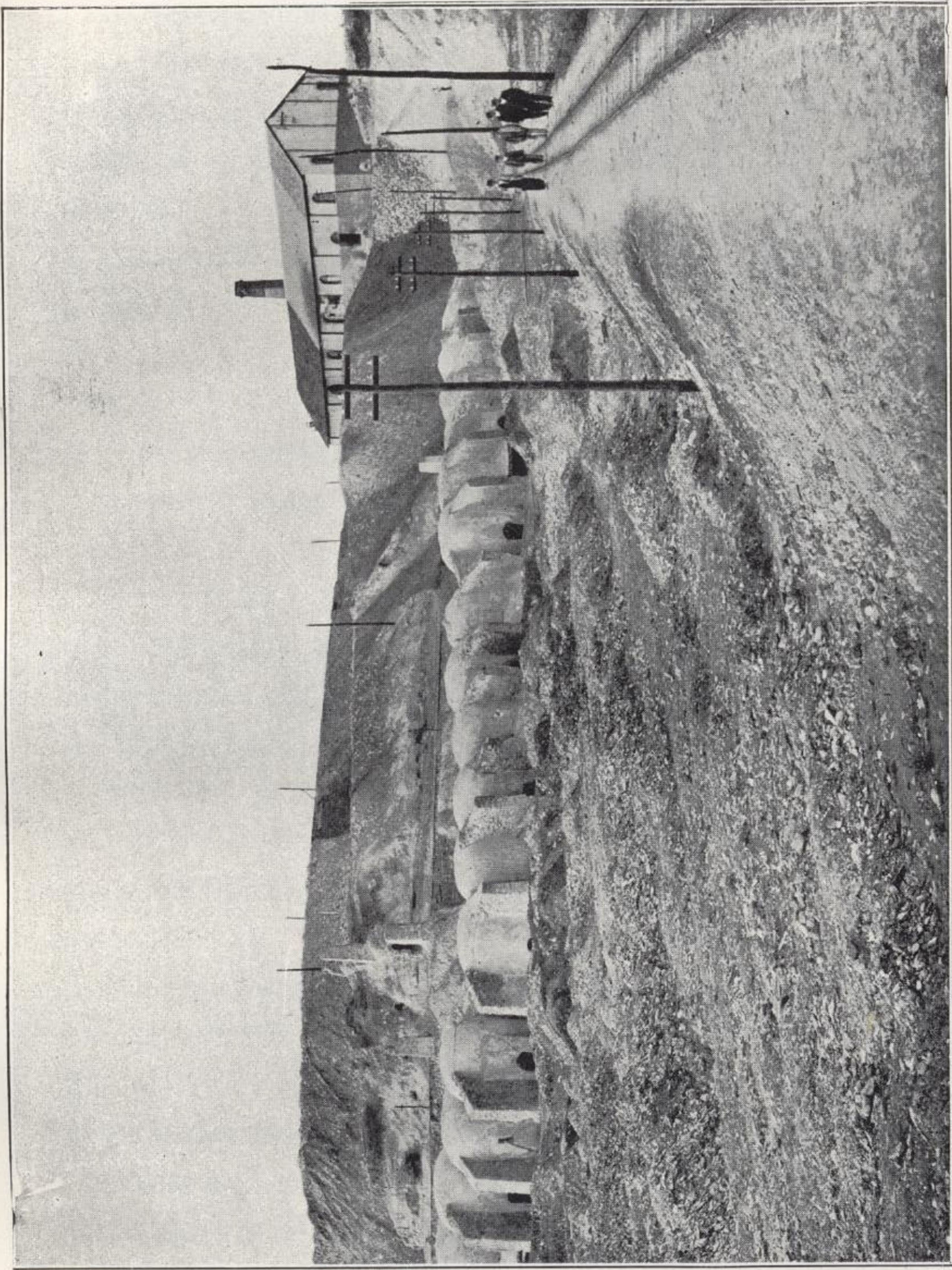
La ventilación, no obstante el desprendimiento de anhídrido carbónico e hidrógeno sulfurado, es, en general, bastante buena y se efectúa de un modo natural gracias a los diversos pozos que establecen la comunicación de las labores con la superficie. Únicamente en ciertos casos especiales, ha sido necesario acudir a la acción de ventiladores absorbentes.

Llegado el mineral al exterior sufre un ligero estrío y es apilado en paralelepípedos rectangulares de un metro de altura, en los que se hace la cubicación de la mena producida para pagar a los mineros.

Esta mena necesita naturalmente un cierto tratamiento para ser transformada en producto vendible, cuyo tratamiento consiste en someterla a la temperatura necesaria en hornos adecuados para que el azufre experimente la fusión, separándose de la parte estéril y acumulándose en el fondo. En la actualidad se hallan en servicio 32 hornos sistema *Claret*, de los que ya nos hemos ocupado al tratar de las minas de Lorca. Estos son de bóveda y cerrados como ya dijimos y poseen hogar interior y una chimenea central que queda a una cierta altura de la bóveda con objeto de que los productos de la combustión se introduzcan entre los intersticios que dejan los trozos del mineral. Esto se consigue por hallarse el tragante de los humos en la parte baja del horno.



Coto menor de Hellín.—Batería de hornos Claret.



Coto menor de Hellín.—Batería de hornos Claret.

La alta temperatura de los referidos humos se transmite al azufre que como es sabido se funde a los 114°, y ya líquido, va a depositarse en la solera para salir al exterior y ser recogido en moldes de madera denominados *gavetas* con forma de troncos de pirámide cuadrangular y una cabida aproximada de 50 kg.

La carga de un horno varía entre 45 y 50 toneladas y su rendimiento es de 8 a 10 toneladas de azufre, según la riqueza del mineral cuyo término medio es de 15 a 20 por 100. Como combustible se emplea la hulla en proporción de 3 por 100. El producto obtenido o azufre de primera fusión, tiene un color pardo más o menos amarillento y su ley de pureza es bastante elevada.

En el rendimiento de los hornos tiene bastante importancia el material y la confección de los pisos, siendo los formados con ladrillos refractarios, los que han dado resultados más aceptables.

El azufre de primera fusión sufre una segunda o refino, en retortas y cámaras apropiadas para la obtención de los productos comerciales denominados flor, molido, cañón y terrón.

Existen tres hornos destinados a la sublimación del azufre. Este es introducido en retortas de hierro con forma de bovedilla rebajada, de 2 m. de largo, 1 m. de ancho y 0,60 m. de altura, análogas a las empleadas en Lorca para el mismo objeto. Caldeadas dichas retortas a más de 450° por medio de hulla de llama larga, se sublima el azufre, cuyo vapor va a condensarse en cámaras de gran capacidad y proporciones semejantes a las de las naves de un templo.

Otros dos hornos sirven para la obtención del azufre fundido refinado y en ellos, el de primera fusión es calentado en

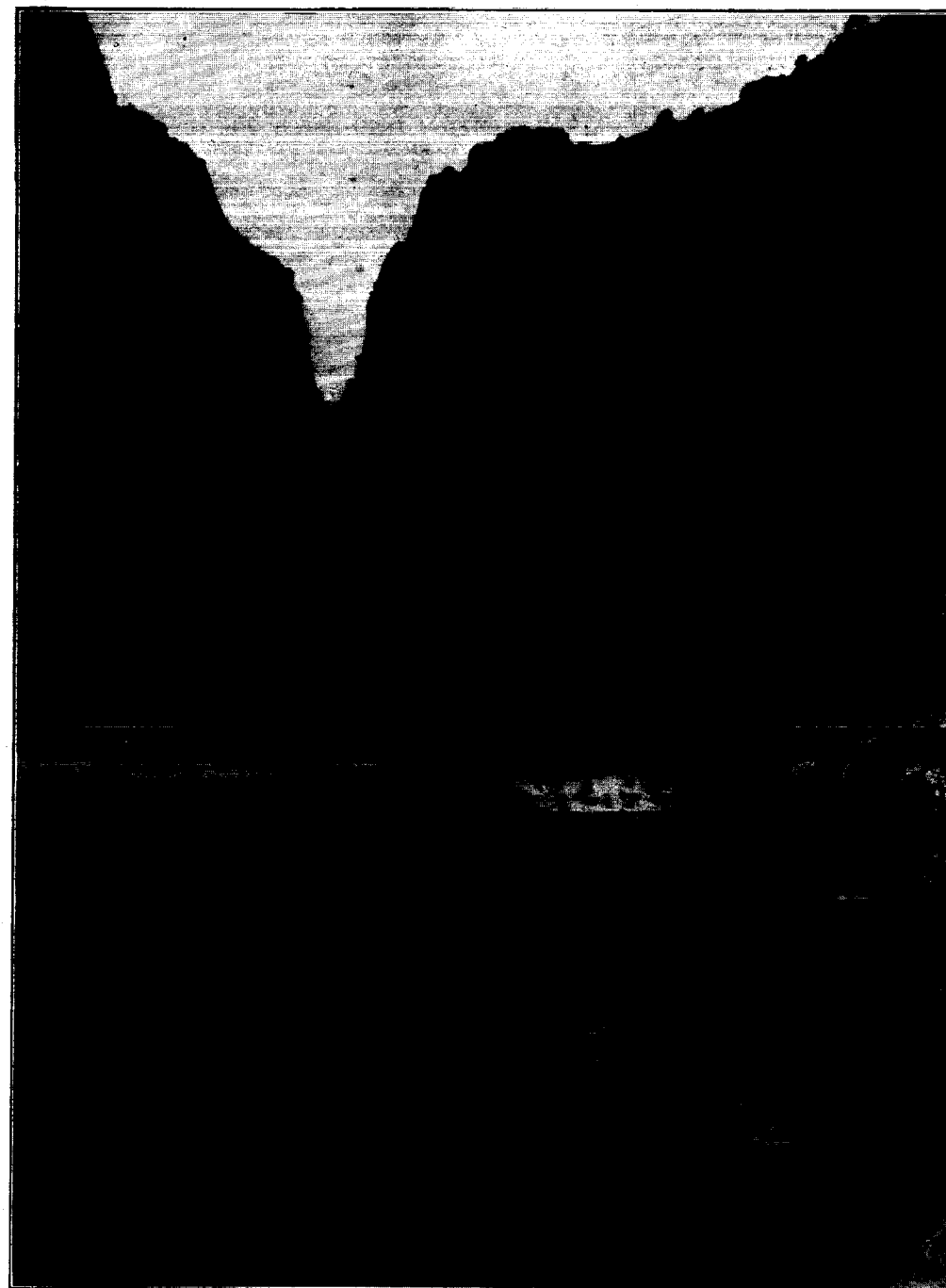


retortas como las ya descritas, pero el vapor va ahora a ciertos recintos de pequeñas dimensiones en los que gracias a la temperatura reinante, vuelve a tomar la forma líquida. En este estado es recogido en *gavetas* iguales a las empleadas para el azufre bruto, o en moldes de madera de forma tronco-cónica, cuando se trata del cañón.

Para el molido del azufre fundido o de terrón existe un molino de dos piedras horizontales, accionado por un electro-motor de corriente continua A. E. G. de 220 voltios, 1.270 revoluciones y 12 HP. El *bizcocho*, o azufre sublimado semiagregado, es reducido también a polvo en otro molino de dos rodillos cónicos de hierro, movido por un motor A. E. G. también de corriente continua, de 220 voltios, 1.270 revoluciones y 6 HP.

Las instalaciones llevadas a cabo para el servicio de la explotación son numerosas e importantes. Debe citarse en primer término la central hidroeléctrica situada sobre el río Mundo a pequeña distancia de la salida del túnel existente cerca de la estación de Minas en la línea de Chinchilla a Cartagena. Esta central aprovecha la potencia de un salto de 9 metros de altura y 500 HP. efectivos, mediante dos turbinas (Briegleb Hansen y C.º) de Gota (Alemania), de eje horizontal, provistas de sus correspondientes reguladores de aceite de la misma marca y acopladas axialmente a sendos alternadores trifásicos A. E. G. de 6.000 voltios, 20 amperios, 50 períodos y 200 kva.

La energía eléctrica producida sale de las barras del cuadro al indicado voltaje y por una línea de tres hilos de cobre de 5 mm., dispuestos en triángulo equilátero sobre postes de madera, va a parar a la subcentral existente en las minas a 3 km. del salto.



Coto menor de Hellín.—Presa de los Almadenes del Mundo.



Coto menor de Hellín.—Presa de los Almadenes del Mundo.

En esta subcentral hay dos transformadores trifásicos A. E. G. en aceite, devanados en estrella de 200 kva.; 6.000 voltios y 20 amperios en el primario, 500 voltios y 230 amperios en el secundario, cuyo centro de estrella está conectado a tierra. Estos transformadores están provistos de todos los elementos necesarios de protección y acoplamiento, y de ellos va la energía a 500 voltios, a las barras del cuadro de distribución, de donde parten las distintas líneas que la llevan a los diferentes servicios.

Algunos de éstos exigen el empleo de la corriente continua, aunque ya está proyectada su supresión y para obtener dicha corriente existen también en la subcentral dos grupos convertidores, uno sincrónico y otro asincrónico, formados por motores trifásicos de 500 voltios y 125 HP. que funcionan, respectivamente, a 600 y 585 r. p. m. y se hallan acoplados por embrague elástico a otras dos dinamos de 250 voltios continuos, 320 amperios y 80 kva.

Los talleres revisten bastante importancia, y en el de ajuste se hacen con gran perfección toda clase de reparaciones, hasta las de las piezas más delicadas. El de carpintería está destinado a la construcción de carretillas y gavetas, habiendo salido de él castilletes de 10 m. de altura y cubiertas de tejados para los almacenes, ejecutadas con el mayor esmero.

Hay asimismo una multitud de edificaciones necesarias para los distintos servicios: casas de máquinas, talleres, almacenes, etc., la casa de la gerencia donde radican las oficinas y tienen sus habitaciones los consejeros e ingeniero director, la capilla, una escuela de niños y otra de niñas.

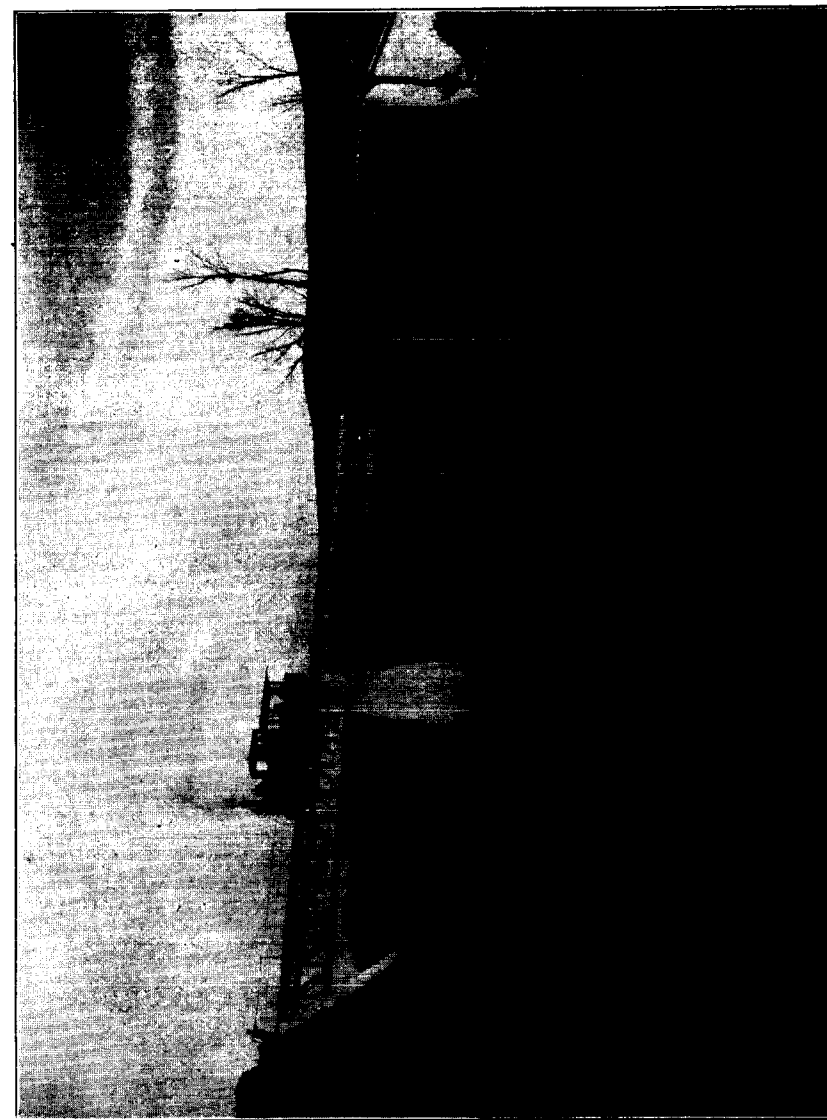
Todos los centros de trabajo están enlazados entre sí por una vía de 0,60 m., lo que lleva el transporte a la mayor economía. El Coto está unido además, con la estación de Minas

del ferrocarril de Chinchilla a Cartagena, por otro de vía estrecha de la anchura citada y 3,5 kilómetros de longitud. Para el establecimiento de este ferrocarril ha sido precisa la construcción de un túnel, un puente de hierro de tres tramos sobre el río Mundo, y un viaducto de 65 metros, que ya no existe por haberse variado desde hace algún tiempo el trazado primitivo de la línea.

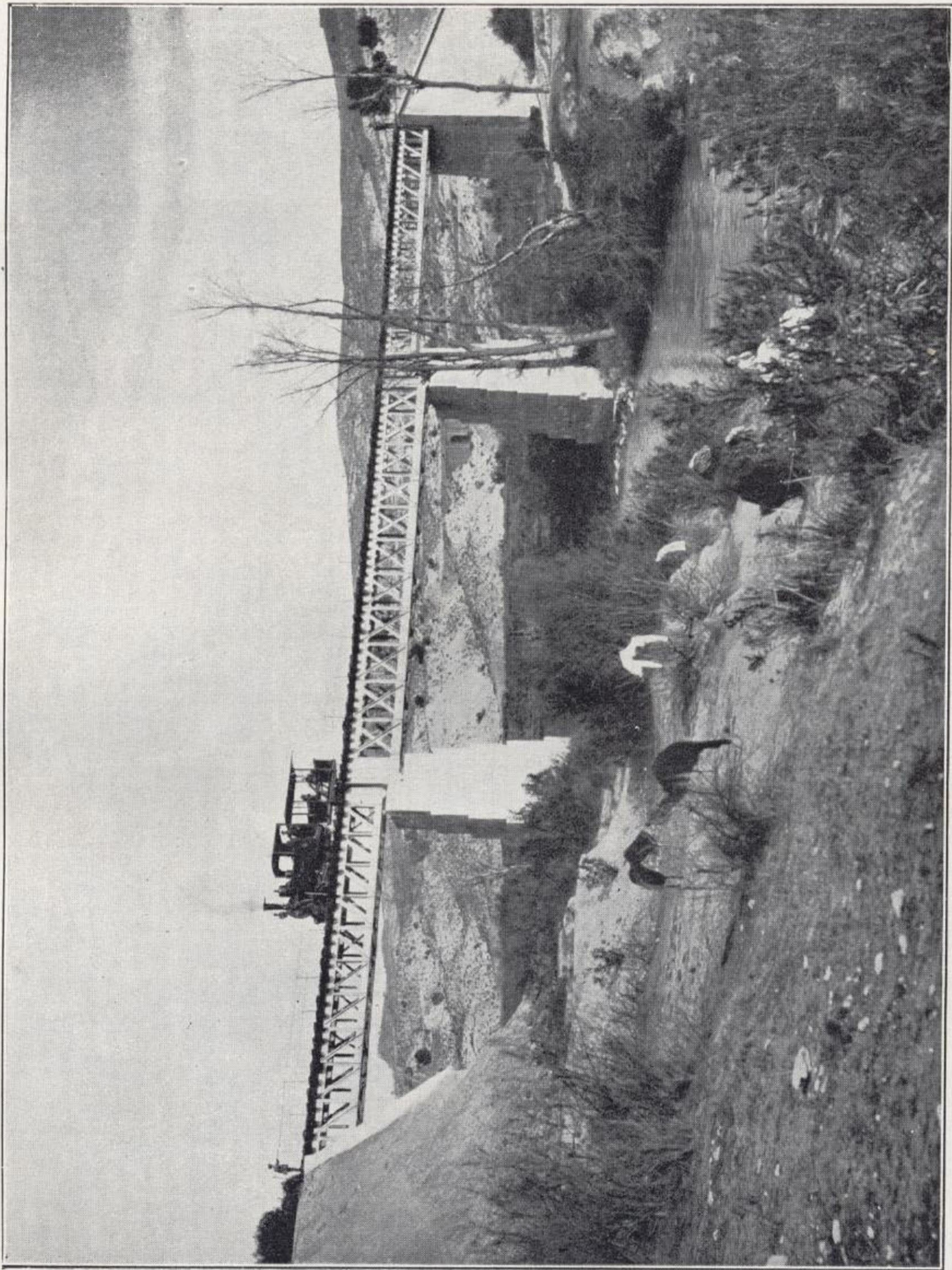
El total de la vía es de unos 6 kilómetros, y para el buen servicio del ferrocarril existen, además del material de transporte necesario, un excelente coche de viajeros y una jardinera para el personal y dos locomotoras de vapor de 8 y 12 caballos, respectivamente.

El Coto de Hellín está ya bastante explotado, como puede deducirse de lo indicado anteriormente. El Ingeniero D. Luis Reyes calculó hace años que aun quedaban en el yacimiento 400.000 toneladas de azufre vendible, y más tarde, D. César Iglesias elevó dicha cantidad a 500.000 toneladas. En cambio, M. Fabre estimaba en 1915 en 53.000 toneladas la cantidad de azufre existente, deduciendo que sólo quedaban a las minas unos seis años de vida industrial.

En opinión nuestra, el porvenir de las minas depende, tanto de los nuevos descubrimientos que pueden hacerse a un nivel inferior a la zona explotada en la actualidad, como de la prolongación de la formación azufrosa por debajo del río Segura y por los terrenos situados en la orilla derecha de éste. Desde el primer punto de vista, y teniendo en cuenta que la octava capa —la más profunda de las conocidas— se halla explotada únicamente en la parte más alta, es casi seguro que, dada la extremada regularidad de la formación, continúe con la mineralización actual, si no mejora, en la gran zona que tiene como centro el pozo «San Javier». Esta cons-



Coto menor de Hellín.—Viaducto sobre el río Mundo.



Coto menor de Hellín.—Viaducto sobre el río Mundo.

ESTUDIO DE LOS YACIMIENTOS DE AZUFRE DE MURCIA Y ALBACETE por José Meseguer Ingeniero de Minas

COTO MENOR DE HELLÍN. PLANO DE LA SUPERFICIE

Escala 1:10.000



- Linea Eléctrica
- Ferrocarril
- Hornos de 1ª fusión
- Pozos

tituye una reserva de tal importancia presumida, que en la actualidad se está llevando a la práctica la profundización del citado pozo, para alcanzar la octava capa y poner en explotación la correspondiente zona, de la que se espera obtener un tonelaje importante de azufre.

Por otra parte, los afloramientos de las capas en las concesiones «San Guillermo» y «Purísima Concepción», situadas en una extensión de 1.700 metros de N. a S., hacen ver la prolongación de la formación azufrosa más allá de la orilla del río y para un conocimiento más exacto de la disposición y riqueza de los estratos explotables en esta parte, que constituye también una gran reserva, se hace indispensable la ejecución de un cierto número de sondeos con los que pueda llegarse a la profundidad deseada, sin que las aguas puedan oponer obstáculos de ningún género.

Realmente no se comprende como aun no se ha llevado esta idea a la práctica, tratándose de un procedimiento cuya economía y eficacia le hacen muy adecuado para las investigaciones de esta clase de yacimientos.

§ VI.—Minas del Cenajo.

Las concesiones que radican en el paraje denominado el Cenajo se hallan distribuidas en dos grupos separados por el río Segura. Como éste constituye en aquella parte el límite de las provincias de Murcia y Albacete, resulta que el primero de los citados grupos, que comprende una extensión de 118 hectáreas, está situado en el término de Hellín, correspondiente a la última de las citadas provincias, mientras que el segundo, cuya superficie se eleva a 118 hectáreas, se encuentra en el término de Moratalla, de la provincia de Murcia.

El grupo N., es decir, el perteneciente a Hellín, lo constituyen las minas «Juanele», «Nuestra Señora del Pilar», «Krugers» y «Juan I», y el enclavado en el término de Moratalla está formado por las concesiones «Juan II», «Jesusita» y «Ampliación a Jesusita».

El Cenajo se encuentra a 8 kilómetros próximamente del Coto de Hellín y, por lo tanto, la estación de ferrocarril más próxima es la de Minas; pero la dificultad de comunicaciones que existe por esta parte hace que los transportes resulten más económicos y fáciles por la estación de Hellín. Partiendo de ésta, debe seguirse, para llegar al Cenajo, la carretera de Elche de la Sierra en un trayecto de 13 km. y medio, y más tarde otros 12 por un camino de carros que conduce a las minas.

La constitución geológica es enteramente semejante a las de Lorca, Abarán y Coto Menor de Hellín, y la montaña del Cenajo, que pertenece al mioceno superior lacustre, ofrece margas sabulosas, yesosas y otras margas impregnadas de azufre, semejantes a las que se explotan en el último de estos lugares. Debe indicarse que el río Segura discurre en esta parte al N. del elevado tajo donde terminan las sierras del Bu y de Pajares, y el yacimiento se encuentra inmediato a una gran falla que forma el contacto del triás con el mioceno.

Los estratos situados al N. del río, que han sido los únicos explotados, tienen dirección NW. buzamiento NE. e inclinación que oscila entre 33 y 35.º ofreciendo un espesor de 0,20 metros que en determinados casos se eleva a 0,30 m.

Se han reconocido tres capas azufrosas en la mina «Juan I» y otras dos en la «Juan II», pareciendo que si las impregnaciones de azufre llegan a adquirir el desarrollo necesario, puedan constituir cinco capas diferentes, que con seguridad no son sino prolongaciones de las explotaciones en el Coto de Hellín.

Las capas explotables se han cortado en la primera de las minas citadas, por tres socavones numerados 1, 2 y 3, que se emboquillaron en la ladera izquierda de la denominada Rambla Teja y descienden en trancada desde el punto de encuentro con la capa intermedia. Estas labores cuentan con un desarrollo muy pequeño, ofreciendo en horizontal 35, 40 y 30 metros, respectivamente, y en rampa 15, 20 y 12 metros.

En los ángulos de las rampas con los socavones se establecieron tornos de mano que facilitaban mucho la extracción del mineral. Esta se llevaba a cabo mediante espuestas suspendidas a unas poleas que se deslizaban a lo largo de cables de acero fijos en el techo de las trancadas. Dichas espuestas eran elevadas por medio de cables que iban a arrollarse en los expresados tornos.

El transporte del mineral continuaba después por medio de vagonetas que, partiendo de cada uno de aquéllos, corrían por los socavones gracias a vías de hierro de 0,50 m. de anchura.

El agua que daban los trabajos era conducida al exterior por medio de una bomba de mano instalada dentro de las labores y una tubería de hierro de 0,05 m.

El beneficio de las menas se ha efectuado con 12 hornos Claret de 3,25 m. de diámetro interior y 7,50 m. de altura, capaces de cargar hasta 45 toneladas. Estos hornos se hallan al pie de la vía existente frente a los socavones y están situados por encima del camino que proporcionaba salida a los productos de las minas.

A pesar de la escasez de labores de reconocimiento que se han realizado en las minas, las analogías de esta formación azufrosa con la del Coto de Hellín, de la que constituye, sin duda, una continuación, hacen presumir la existencia de grandes cantidades de mineral de buena calidad. Todos los

técnicos que en diversas épocas han visitado el Cenajo, no han ocultado sus buenas impresiones y particularmente el Ingeniero D. Guillermo O'Shea, cuya competencia en estos asuntos es bien conocida, cree en la posibilidad de establecer una explotación llena de interés, que podría llegar a ser uno de los buenos negocios de azufre en España.

§ VII.—Minas de Socovos.

En el término de Socovos, de la provincia de Albacete, existe una concesión denominada «Antonio Teresa», de 96 hectáreas, que se encuentra al N. del arroyo del Cañar. Este pequeño curso de agua discurre al pie de una falla, que limita por el N. a la sierra del Bu, y se une más tarde al río Segura cerca del cortijo llamado Casa Roja.

Este cortijo está situado a 6 kilómetros de Socovos, a 5 de Férez y a 4 de la aldea de Olmos, la cual se halla muy cerca de la carretera que desde Calasparra se dirige a Socovos y Letur.

Las condiciones estratigráficas y litológicas del yacimiento son completamente análogas a las ya estudiadas en la misma provincia, habiéndose descubierto algunas capas de margas y yeso que contienen azufre y pertenecen a la formación miocena lacustre.

No obstante el excelente aspecto del yacimiento y la existencia de trabajos subterráneos que han permitido la extracción de cantidades de azufre que revisten cierta importancia, no se ha podido beneficiar el metaloide ni efectuar exportación alguna de la mina, a causa de los 30 kilómetros de distancia a que sería preciso transportar los productos, con la elevación consiguiente del precio.

§ VIII.—Aplicaciones del azufre. Producción.

El azufre tiene aplicaciones numerosísimas, siendo las principales, desde el punto de vista industrial, la fabricación del ácido sulfúrico, la del anhídrido sulfuroso y la de ciertas sales derivadas de ellos: sulfatos, sulfitos, thiosulfatos, bisulfitos, metabisulfitos, etc. Otras aplicaciones importantes son la fabricación del sulfuro de carbono, cuyo consumo aumenta de día en día y el empleo que con frecuencia se hace del azufre en viticultura.

El sulfuro de carbono cuenta a su vez con un gran número de usos. Hasta 1850 tenía como única aplicación industrial la vulcanización del caucho, pero más tarde sus propiedades como disolvente le han extendido a muchas industrias, empleándose en grandes cantidades para la extracción del aceite de las semillas oleaginosas, de los residuos de éstas y del orujo. Sirve igualmente para desengrasar determinadas sustancias animales y vegetales como lana, pieles, huesos, trapos, etc. Se utiliza también para preparar soluciones de cera destinadas al barnizado; para disolver el alquitrán de numerosos desperdicios industriales; en la preparación de algunos productos químicos, y en gran cantidad, contra la filoxera de la vid, inyectándolo en el terreno con bombas especiales. En 1906 se le empleó para destruir los *nematodos* de la remolacha, y desde 1910 se ha iniciado un gran consumo en las fábricas de seda artificial a la viscosa.

El empleo del azufre en viticultura se generaliza cada vez más para la destrucción del *oidium* (*Uncinula necator*), que es una criptógama microscópica cuyo sistema vegetativo y reproductor se adhiere a la superficie de la parte atacada, sin penetrar en el interior de los tejidos. La experiencia ha demos-

trado también que no solamente actúa el azufre de un modo eficaz contra el *oidium*, sino que la viña adquiere por su acción un gran vigor. Con el azufrado de las vides se combate la caída de los granos, facilitándose la fecundidad de las flores, y de este modo pueden obtenerse racimos llenos y jugosos y se entorpece además la evolución de un pequeño ácaro cuyas picaduras en las hojas jóvenes originan la enfermedad conocida con el nombre de *eriosis*. Debe, pues, procederse al azufrado de las viñas, aun cuando se trate de plantas sanas, toda vez que protegiéndolas, se estimula la vegetación, avanzando y favoreciendo la maduración de los frutos.

Lo expuesto es suficiente para hacer ver la relación estrecha que existe entre la viticultura y la producción de azufre. En Alemania y en América se ha ensayado su empleo en agricultura, para combatir la llamada sarna de las patatas, habiéndose comprobado un aumento en las cosechas, que según experiencias directas efectuadas en Francia por Chaucrien y Desriot, debe atribuirse a una actuación bajo la forma de abono catalítico. La Estación de Experiencias Agrícolas de Oregón ha obtenido asimismo resultados de gran interés, mediante el empleo del azufre como abono de la alfalfa en determinados suelos.

De orden más secundario son las aplicaciones destinadas a la fabricación de la pólvora y los productos pirotécnicos, las cerillas, blanqueo, desinfección, productos farmacéuticos, conservación del vino, fabricación del ultramar, del oro mu-sivo, bermellón, etc.

Un amplio horizonte se ha abierto en la actualidad al azufre con motivo de la industria naciente de la pasta de madera para la fabricación del papel. Esta industria, que está desarrollándose con un gran incremento en los Estados Unidos,

ha de aumentar extraordinariamente el consumo de azufre, puesto que este elemento, necesariamente tiene que substituir a las piritas, las cuáles, de ser empleadas, provocan el nacimiento de ácido sulfúrico, que por destruir la celulosa, compromete la fabricación de la pasta.

He aquí un estado relativo del empleo del azufre en el mundo actualmente:

Acido sulfúrico	52,0	por 100.
Anhidrido sulfuroso	25,0	»
Industrias del caucho	8,3	»
Agricultura.	8,8	»
Sulfuro de carbono	3,1	»
Usos directos.	2,8	»

Como puede verse, el empleo verdaderamente importante es la fabricación del ácido sulfúrico, cuyas aplicaciones son tan vastas y de tal naturaleza, que el consumo ha podido servir de norma para establecer el grado de desarrollo industrial de los países.

Este último elemento, viene obteniéndose desde el año 1666 y la industria azufrera puede decirse que estaba reducida en su mayor parte a la existente en la Isla de Sicilia, la cuál, con su famoso azufre nativo, llegó a ejercer enteramente el monopolio de la producción con resultados muy halagüeños, sobre todo, desde la época en que Leblanc llegó a hacer del ácido sulfúrico la base de la fabricación de la sosa.

Los productores de azufre se pusieron de acuerdo en el año 1835 para triplicar el precio en un momento dado; pero no obtuvieron sino durante un tiempo muy escaso los beneficios con que contaban, pues dos años más tarde, el descubrimiento de Miguel Perret para reemplazar el azufre con las piritas en la fabricación mencionada, dió lugar, como es na-

tural, a una disminución muy importante del empleo del azufre nativo.

La invención en 1861 del procedimiento de Schloesing y Solvay para la obtención de la sosa por el amoníaco, como los que actualmente se emplean fundados en la electrolisis, han hecho disminuir el uso del ácido sulfúrico, pero no obstante, este cuerpo cuenta, como hemos dicho, con tantas aplicaciones, que su industria apenas ha podido quedar afectada.

De esta manera quedó establecido un cierto equilibrio entre las producciones de azufre y de piritas, que quedó roto al descubrirse en 1903 los notables yacimientos de la Luisiana, en los Estados Unidos de América. Estos yacimientos, cuya explotación ha sido fatal para la industria siciliana, forman un bloque azufroso capaz de representar 40.000.000 de toneladas, que se encuentra a 250 m. de profundidad y es aprovechado por medio de taladros en los que se inyecta vapor de agua a 168°, para elevar más tarde el azufre en estado líquido, por la acción del aire comprimido.

El empleo del azufre substituyendo a las piritas en la fabricación del ácido sulfúrico, ha alcanzado en los Estados Unidos grandes proporciones durante la guerra y continúa en la actualidad, en vista de las ventajas que presenta el primero. Los hornos de quemar azufre son menos costosos que los de pirita, las cámaras de plomo resultan menos atacadas, y sobre todo, llega a obtenerse un ácido desprovisto de arsénico, lo que reviste gran importancia para aquellas industrias que hacen uso del ácido sulfúrico con destino a la obtención de substancias alimenticias, como la preparación de las levaduras, el lavado del negro animal de las refinerías, la fabricación del ácido cítrico, la de materias colorantes destinadas a jarabes, etc.

Estas ventajas, que van resultando cada vez más evidentes, sobre todo en los últimos tiempos, han sido causa de que en 1922 alcanzara proporciones enormes el empleo del azufre para la obtención del ácido sulfúrico.

Según *The Mineral Industry*, la producción de mineral de azufre en el mundo, ha sido durante el último decenio:

Años.	EE. UU.	Italia.	España	Japón	Total.
1912	308.530	357.547	42.344	55.005	785.852
1913	316.783	386.310	62.653	59.481	806.386
1914	347.491	377.843	47.180	75.308	877.000
1915	299.133	358.107	28.937	73.369	860.000
1916	779.181	269.374	46.923	108.100	1.219.104
1917	1.138.416	211.847	84.979	117.990	1.572.874
1918	1.287.103	234.296	72.360	64.696	1.682.208
1919	680.800	226.126	89.586	67.382	1.800.000
1920	1.524.059	263.603	77.039	21.147	»
1921	969.800	284.600	85.678	25.000	»

Cuya estadística hace ver, no sólo el considerable aumento experimentado, sino que el monopolio que de hecho ejercía Italia con sus azufres de Sicilia ha desaparecido en beneficio de los Estados Unidos, que han conquistado en poco tiempo el primer puesto en el mercado.

Con motivo de la conflagración internacional, el alza de los cambios y el precio de los fletes, permitieron a Sicilia, aunque de un modo momentáneo, conquistar el monopolio europeo; pero actualmente sigue dominando América, en la cual, el 80 por 100 del azufre del mundo es producido por tres compañías: «Texas Gulf Sulphur C.º», «Unión Sulphur C.º», «Freeport Sulphur C.º».

Después de la guerra ha habido una gran crisis de superproducción, y a últimos de 1920, los *stocks* procedentes de las minas americanas, ascendían a la enorme cantidad de

3.000.000 de toneladas. A esta cifra elevadísima, debe agregarse el azufre producido por Italia, España, el Japón y las demás naciones para obtener en total unas existencias considerables, mientras el consumo mundial anual, según estadísticas efectuadas por el gobierno de Washington, sólo llegaba a 1.000.000 de toneladas.

Es imposible, desde un punto de vista absoluto, prever los acontecimientos, siquiera sea de una gran evidencia que la situación mundial del mercado de azufre debe ser regularizada por los principales productores.

En 1922, el consumo mundial ha llegado a 1.500.000 toneladas próximamente, siendo los principales consumidores el Canadá y los Estados Unidos, que han absorbido alrededor de 1.000.000 de toneladas. Probablemente, ha de existir un gran crecimiento del consumo gracias a los satisfactorios resultados que está dando el empleo del azufre como abono; a la industria de la pasta de madera para el papel, y sobre todo, a la sustitución de las piritas en la obtención del ácido sulfúrico, cuyas ventajas ya enumeradas van apareciendo cada vez con mayor relieve.

En España, según la Estadística Minera, la producción de mineral de azufre ha sido la siguiente:

Años.	Albacete.	Murcia.	Teruel.	Almería	Total.
1912	26.613	4.689	10.357	685	42.344
1913	30.327	19.395	12.000	931	62.653
1914	28.324	4.933	12.000	1.823	47.180
1915	18.142	4.976	4.292	1.527	28.937
1916	35.000	4.479	6.050	1.394	46.923
1917	52.390	14.729	6.985	10.875	84.979
1918	35.589	17.561	3.765	15.445	72.360
1919	16.836	22.722	37.475	12.553	89.586
1920	18.061	21.003	30.000	7.975	77.039
1921	23.000	17.065	42.000	3.613	85.678

En los mismos años, el azufre total obtenido ha sido según se expresa:

Año 1912	4.592 toneladas.
» 1913	7.499 »
» 1914	8.060 »
» 1915	9.670 »
» 1916	10.630 »
» 1917	12.885 »
» 1818	12.738 »
» 1919	11.444 »
» 1920	12.693 »
» 1921	13.551 »

Los valores de las producciones anteriores son los siguientes:

Años.	Valor de los minerales en bocamina.	Valor del azufre en pie de fábrica.
1912	264.113 ptas.	687.600 ptas.
1913	482.937 »	1.088.050 »
1914	373.755 »	1.005.700 »
1915	206.187 »	1.118.453 »
1916	1.746.041 »	2.702.046 »
1917	7.904.605 »	4.790.860 »
1918	3.089.267 »	6.595.058 »
1919	1.310.108 »	4.705.534 »
1920	1.940.039 »	5.110.649 »
1921	1.399.741 »	4.945.772 »

Las cifras expuestas bastan para dar idea de la capacidad de España como productora de azufre y hacen ver asimismo, el crecimiento progresivo de la producción nacional. Aunque resulta en la actualidad bastante perjudicada por la competencia de América e Italia, continúa en nuestro país el laboreo en cierta escala, por existir todavía un margen suficiente que permite ciertos beneficios.

Aun puede aumentarse en el porvenir la importancia de la minería del azufre, si procediendo con una orientación idéntica a la de los Estados Unidos se estudia la substitución de las piritas y el empleo como abono y se implanta con todo el desarrollo que merece la floreciente industria de la fabricación de pasta de madera destinada al papel.

Madrid, Septiembre de 1923.

PRINCIPALES METODOS
SEGUIDOS EN ESTE
INSTITUTO GEOLOGICO
PARA LAS
INVESTIGACIONES DE PETROGRAFIA
CUANTITATIVA
POR
ENRIQUE RUBIO
INGENIERO DE MINAS

PRINCIPALES METODOS
SEGUIDOS EN ESTE
INSTITUTO GEOLOGICO
PARA LAS
INVESTIGACIONES DE PETROGRAFIA
CUANTITATIVA

MEDIDA DE LOS INDICES DE REFRACCION

Conforme a lo expuesto en el trabajo anterior sobre la medida de la birrefracción, publicado en este *Boletín*, t. XLIII-III de la tercera serie y para proseguir el cometido que allí expresaba paso, a continuación, a exponer la manera de operar que se sigue en este Instituto para la medida de los índices de refracción, tanto de cristales relativamente grandes, como de los pequeños cristales contenidos en una preparación delgada de una roca.

La importancia de esta medida es definitiva en Petrografía, pues medidos los índices de refracción de un cristal, puede decirse que desde aquel instante está totalmente clasificado dicho cristal con acudir a los cuadros que publicamos en la medida de la birrefracción; pero hay más, en el procedimiento seguido, que es el del empleo del refractómetro de bola de Abbe, modificado por Pulfrich, se obtiene:

1.º El índice de refracción, los dos índices o los tres, según que el cristal sea isótropo, uniáxico o biáxico.

2.º La birrefracción, sin más que restar el índice mínimo del máximo.

3.º El signo óptico de los minerales birrefringentes.

Como se ve con todos estos datos hay más que suficiente para poder encontrar en los citados cuadros el lugar que le corresponda al mineral, y no sólo su clasificación como especie, sino su semejanza por sus características con otra, u otras del mismo nombre pero de distintas localidades, analogías que más tarde conducen a la clasificación de las rocas por provincias petrográficas.

Constituye, pues, para nosotros este aparato que se representa en la figura primera, el complemento natural del microscopio en el laboratorio de petrografía y se basa en el principio óptico siguiente:

Si un haz de luz atraviesa un hemisferio de vidrio de alto índice y llega luego a la superficie de un mineral, se refractará a través de aquel, o sufrirá la reflexión total, según sea el ángulo de incidencia. La reflexión tendrá lugar cuando dicho ángulo sea el límite que corresponde al índice de refracción del mineral, y cuando tal sucede la fórmula que liga dicho ángulo con el citado índice y con el del vidrio del hemisferio, es la siguiente:

$$N = n \cdot \sin \mu$$

Efectivamente, si llamamos N el índice del cristal que queremos medir y n pequeña el índice de la bola del refractómetro usado, tendremos, según las leyes de la refracción, que en un momento cualquiera, para un rayo que pase de la bola al cristal se cumplirá la condición de que

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{N}{n}$$

en que i es el ángulo de incidencia y r es de reflexión.

Ahora bien, si se hace variar el ángulo i hasta conseguir que sea el ángulo límite, es decir, aquel ángulo a partir del cual el rayo deja de refractarse para pasar a reflejarse, en-

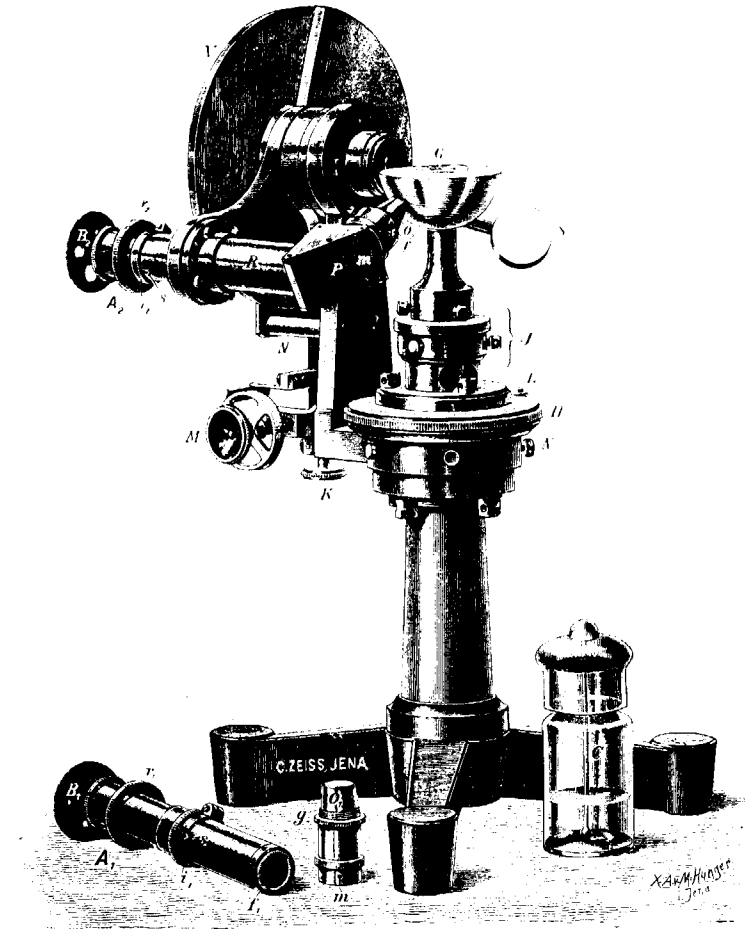


Fig. 1.

tonces, y en ese momento, tendremos que i será el ángulo de reflexión total, que denominemos μ y r será igual a 90° , de modo que tendremos:

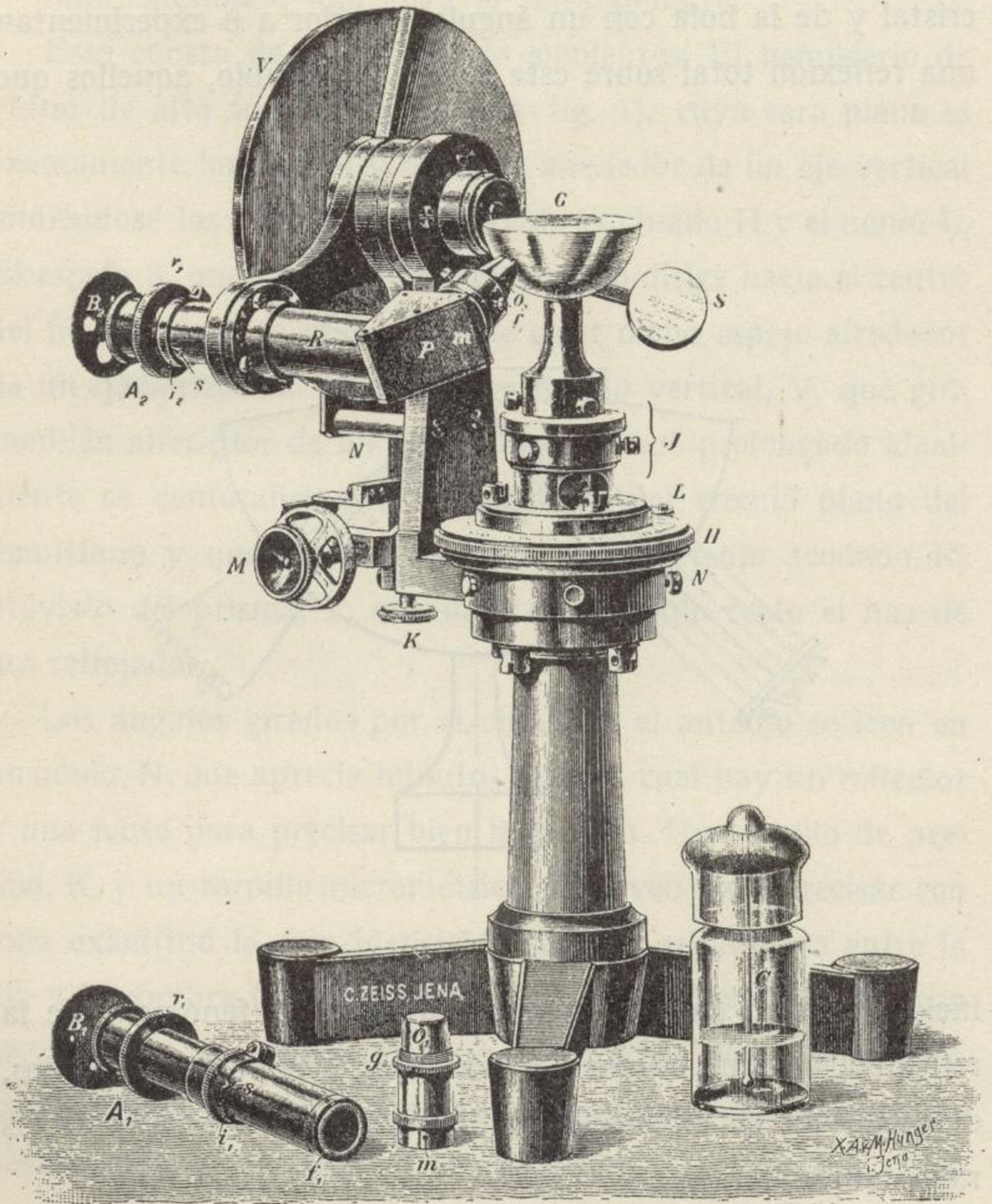


Fig. 1.

$$\frac{\sin \theta}{\sin 90^\circ} = \frac{N}{n}; \quad N = n \sin \theta$$

En ese instante tendremos, como se indica en la figura 2, que todos los rayos que inciden sobre la cara de unión del cristal y de la bola con un ángulo superior a θ experimentan una reflexión total sobre esta cara y en cambio, aquellos que

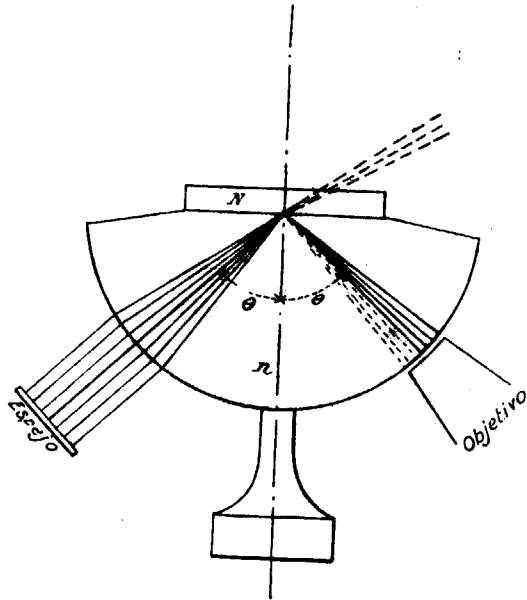


Fig. 2.

inciden con un ángulo inferior a θ sufren el fenómeno de la reflexión, y serán, en parte, refractados, y en parte, reflejados, de modo que su intensidad luminosa será inferior a la de los rayos anteriores.

De este modo al observar el fenómeno, nosotros percibiremos un campo mitad sombra, mitad luminoso, cuya línea de separación nos indica la posición de los rayos que incidieron con un ángulo igual a θ .

Por otra parte, como en este caso sabemos que el ángulo

de incidencia es igual al de reflexión, resulta que lo mismo da medir el ángulo que forma el espejo en ese momento con el eje del aparato, que medir el que forma dicho eje con el del microscopio con que se observa y es éste el que se mide en el limbo graduado que lleva el refractómetro.

Este consta de los elementos siguientes: El hemisferio de vidrio de alto índice G (véase la fig. 1), cuya cara plana es exactamente horizontal y que gira alrededor de un eje vertical midiéndose los del giro con el círculo graduado H y el nonio L. El espejo S, que recibe el haz de luz y lo dirige hacia el centro del hemisferio, para lo cual puede girar dicho espejo alrededor de un eje horizontal. El círculo graduado vertical, V, que gira también alrededor de un eje horizontal, que prolongado idealmente se confundiría con el diámetro del círculo plano del hemisferio y que arrastra en su giro el anteojo acodado, R, provisto del prisma, P, que desvía en ángulo recto el haz de luz reflejado.

Los ángulos girados por el círculo y el anteojo se leen en un nonio, N, que aprecia minutos, ante el cual hay un reflector y una lente para precisar bien la lectura. Un tornillo de presión, K, y un tornillo micrométrico, M, sirven para precisar con toda exactitud la coincidencia de la línea separadora entre la luz y la sombra (que marca el ángulo de reflexión total), con los hilos de un retículo de que va provisto el anteojo. Esta disposición es idéntica a la de los taquímetros y demás aparatos destinados a medir ángulos con precisión.

Las partes que se hallan fijas al círculo graduado son: el tubo, R, que recibe el ocular y el prisma de reflexión, P, que lleva un paso de tornillo para atornillar los objetivos siguientes: O (fig. 1), de cerca 75 mm. de distancia focal, O₂ con 25 mm. de distancia focal y O₃ (no dibujado en la figura), los dos pri-

meros para observar las líneas límites de reflexión, el último (O_2) para observación directa del cristal colocado encima de la semibola.

O_1 y O_2 , combinados con la semibola, hay que considerarlos como objetivo de un anteojo graduado al infinito. Para poder observar con O_1 (el objetivo del anteojo de aumento) la imagen de un objeto alejado reflejada en la cara plana, lleva adjunta una lente auxiliar plano-convexa (Hulfinse), que es del mismo vidrio que la semibola y tiene la misma curvatura. Esta lente auxiliar está dispuesta para atornillarse en g y tiene su empleo para el ajuste de la bola.

A los tres objetivos antes citados corresponden dos oculares, A_1 y A_2 , teniendo siempre en cuenta que A_2 sólo se emplea combinado con O_2 , A_1 , tanto con O_1 como con O_2 .

El ocular A_1 , correspondiente a O_1 , está provisto de cruz filar, f_1 y un disco de diafragmas, B_1 . La yuxtaposición de la cruz filar se fija con el anillo, i , y la cuña s , que se adapta a la hendidura R . El accionamiento r_1 , sirve como medio de enfoque de la lente ocular para mayor claridad de la cruz filar.

El ocular A_2 , correspondiente a O_2 , está provisto igualmente de un disco diafragma, B_2 , del accionamiento, r_2 y del anillo, i_2 . Falta la cuña, pues la cruz filar va unida al objetivo, O_2 , y se atornilla con este. Para lograr la misma colocación de ambas cruces filares, f_1 y f_2 , respecto al círculo graduado, ha sido provisto f_2 de un mecanismo para su ajuste.

En combinación con el objetivo, O_2 , forma, finalmente, el ocular, A_2 , un microscopio de débil aumento. Colocando éste verticalmente sobre la semibola se obtiene, coincidiendo con la cruz filar, una imagen del cristal que se halla sobre la semibola; se está, por consiguiente, en condiciones de:

1.) Efectuar un examen exacto del centrado del cristal sobre la semibola.

2.) Transportar al círculo horizontal cualquier dirección determinada dada por la forma del cristal.

El transporte se hace de manera que, girando la semibola alrededor de su eje vertical, se lleva el borde del cristal paralelo a un hilo o par de hilos colocados en el plano de la cruz filar y que son paralelos al plano de incidencia, y esta posición se lee en el círculo horizontal. De esta manera se pueden comparar directamente entre sí los valores leídos en el círculo horizontal.

Los juegos de diafragmas, B_1 , B_2 , adaptados en el anillo de Ramsden de cada ocular permiten aislar una parte mayor o menor de los campos visuales y conseguir que la parte aislada esté ocupada por entero por el mineral cuyo índice se trata de medir.

Descrito someramente el refractómetro, vamos a exponer ahora, con algunos más detalles, la manera como operamos: manera que ha sido el resultado de múltiples tanteos, pues el manejo de este aparato no es tan fácil como parece deducirse de las descripciones que de él traen los tratados de petrografía.

Como entre la cara plana del hemisferio y el cuerpo cuyo índice se trata de medir no se debe interponer ningún cuerpo cuyo índice sea menor que el del mineral en cuestión, acompañan al aparato tres frascos con líquidos refringentes. Uno es el monobromuro de naftalina ($n=1,65$); otro, el yoduro doble de mercurio y potasio ($n=1,72$), y el otro, el yoduro doble de mercurio y bario ($n=1,78$) (1). Hay, pues, que inter-

(1) De una vez para todas diremos que todos los índices de refracción que consignamos se refieren a la luz del sodio, o sease, a la raya D del espectro, cuya longitud de onda es $= 589. \mu \mu$

poner siempre una gota de cualquiera de estos líquidos entre la cara plana del hemisferio y la superficie del cuerpo cuyo índice se quiere medir.

Se empieza por escoger varios cristales o trozos de cierto tamaño del mineral en cuestión y se elige una cara que esté bien plana y operamos sobre ella, apoyándola sobre el centro del círculo plano del hemisferio, interponiendo entre ambos una gota del líquido refringente cuyo índice se aproxima más al del mineral, pero siendo siempre superior al de éste (1).

Cuando se trata de medir los índices de minerales contenidos en las preparaciones microscópicas que es lo más frecuente, el *modus operandi* se complica un tanto. En efecto, si quisiéramos valernos de las preparaciones elegidas, será preciso descubrirlas, esto es, quitarles el cubreobjeto y limpiar muy bien con alcohol o xilol la superficie descubierta para evitar que quede la menor cantidad de bálsamo del Canadá que la recubre, pues si no se hiciera esto, lo que mediríamos sería el índice de dicho bálsamo. Pero sucede que, si no siempre, por lo menos muy frecuentemente, al quitar el cubreobjeto e intentar limpiar la preparación, se inutiliza ésta, y para evitarlo recurrimos a los trozos de roca, que siempre tenemos el cuidado de guardar como duplicados y cortamos de ellos un trozo pequeño con el cuál hacemos una preparación especial para la medida de los índices.

(1) No hay que olvidar que cuando se trata de medir índices con este aparato se sabe ya aproximadamente de qué mineral se trata, y se conoce, por consiguiente, su índice aproximado, y que se está trabajando de lleno con los métodos de Petrografía cuantitativa y tratando de medir con exactitud rigurosa índices que pueden variar de los del mismo mineral en diferentes localidades, pero que si difieren, sólo es en cifras del tercer orden decimal o, a lo sumo, del segundo.

Esta preparación la hacemos por el mismo procedimiento que las destinadas al examen en el microscopio, salvo que la dejamos más gruesa que éstas y pulimentamos cuanto podemos la cara que se va a apoyar sobre el hemisferio.

El tallado comprende, por lo tanto, las operaciones siguientes: Cortar un trozo de la roca que mejor muestre al mineral cuyo índice vamos a medir.

Pulimentar con esmeril una cara de superficie plana de este trozo.

Pegar esta superficie a un portaobjetos con bálsamo del Canadá.

Tallar otra cara paralelamente al plano de portaobjetos, deteniéndonos cuando lleguemos a un espesor tal que la lamina de roca empiece a ser transparente. En casi todos los casos basta un espesor de cuatro a cinco centésimas de milímetro para conseguir dicha transparencia y es inútil adelgazar más la lámina.

Pulimentar perfectamente la cara libre: empezando con esmeriles cada vez más finos y siguiendo después con el Zinmasche y terminando con el Rogue o con magnesia calcinada y la gamuza limpia. Por último se limpia perfectamente la superficie pulimentándola para que desaparezcan de ella hasta los menores trozos de los productos empleados para el pulimento. Este pulimento llevado a su límite máximo tiene por objeto aumentar todo lo posible el poder reflector del mineral para que el haz de luz reflejado sea intenso y se vean mejor las dos zonas, una de luz y otra de sombra que van a servir para medir el ángulo límite, y como consecuencia, el índice. Es, pues, de suma importancia el pulimentar cuanto se pueda la cara libre.

Obtenida ésta, se la apoya sobre la cara plana de hemisferio,

interponiendo una gota del líquido refringente elegido, y comprimiéndola un tanto hacia abajo, para que la capa de líquido sea del menor espesor posible. Con un trozo de papel secante se absorbe el remanente del líquido, que sale por los bordes de la preparación, y ésta queda bastante adherida a la cara plana del vidrio.

Hay que proceder con precaución en el manejo de la roca para no rayar el vidrio del hemisferio, el cuál es muy blando, como sucede con todos los flints de alto índice.

Previamente se lleva la preparación a un microscopio cualquiera y se selecciona a la vista dos o tres secciones (su orientación es indiferente) del mineral cuyo índice se quiere medir y se toma nota en la memoria de estas secciones para reconocerlas después.

Se coloca a continuación en el tubo el ocular, A_1 y el objetivo que combinado con él forma un microscopio de poco aumento. Se hace girar el anteojo hasta que el eje del objetivo sea vertical, en cuya posición la prolongación de su eje óptico pasa por el centro del hemisferio.

Se enfoca la cara inferior de la roca moviendo el ocular dentro del tubo y se lleva al centro del campo una de las secciones elegidas antes. Se hace girar el disco con diafragmas, B, que va sobre el ocular, con objeto de reducir el diámetro del campo y que éste aparezca cubierto o casi cubierto por la sección elegida.

Hecho lo que antecede, comienzan las operaciones destinadas a medir el índice.

La primera de ellas es elegir la luz que se ha de emplear. Ya hemos dicho que ésta debe de ser la de color anaranjado del sodio, cuya longitud de onda es de 589 micras. La mejor manera de obtenerla es valerse, como ya dijimos en nuestra

nota sobre la medida de la birrefracción publicada, en el *Boletín* de este Instituto, tomo XLIII-III de la 3.º serie, de las lámparas especiales de gas y aire, que al efecto venden los constructores de estos refractómetros y que consisten en un mechero Bunsen de boca plana y de unas pinzas que soportan trozos de piedra pómez impregnados de sal común y colocados en la parte superior del mechero para que la llama, casi incolora del gas, mezclado con aire, tome el color anaranjado característico de la luz del sodio.

Si en el laboratorio no se dispone de gas del alumbrado, debe apelarse a los filtros líquidos de color anaranjado, a que también hacíamos referencia en la nota antedicha, poniéndolos en cubetas rectangulares de vidrio, hechas a propósito y cuya abertura oscila entre uno y tres centímetros, por más que, como ya decíamos, la luz así obtenida no sea completamente monocromática.

El foco de luz no necesita ser intenso, y basta poner tras del filtro una bombilla eléctrica de 16 bujías deslustrada, o una lámpara de petróleo, para retener claridad suficiente para las observaciones. El mechero de gas con la piedra pómez, que acabamos de describir, da también la cantidad de luz necesaria para la medida. No hacen falta tampoco colectores o condensadores que concentren la luz sobre el mineral: basta para esto el hemisferio mismo, que actúa como lente convergente débil. El haz de luz debe incidir, por lo tanto, paralelamente sobre el espejo, y para ello se coloca el foco que lo produce delante de aquél y a cosa de 15 a 20 centímetros de distancia. Es una buena precaución la de interponer una pantalla de cartón con un agujero pequeño entre el foco de luz y el espejo para que sólo éste resulte alumbrado y no el resto del aparato ni los ojos del operador.

Hecho esto, se quita del tubo el objetivo del microscopio y se coloca en él al O_1 atornillándolo hasta que una rayita blanca que lleva trazada en su borde coincida exactamente con otra igual que va en la armadura del prisma, P, pues los constructores precisan con rigurosa exactitud el foco de estos objetivos y los señalan con las marcas dichas. Se hace entonces girar el anteojo entero con el círculo hasta que ocupe una posición aproximadamente igual a la que ocupa en la figura. Se va moviendo lentamente el espejo y el anteojo hasta que aparezca en el centro del campo una parte oscura separada de otra clara por una línea recta. Se lleva esta línea de separación de luz y sombra a coincidir con el hilo diametral del retículo y se fija el anteojo para leer el ángulo que forma con el eje vertical del aparato: ángulo que se lee en el nonio y que es el θ que se va buscando, y como el índice de la media bola viene dado por la casa constructora, tenemos los elementos necesarios que introducidos en la fórmula antedicha nos dan el valor del índice que vamos buscando.

Pero esto, que dicho como antecede parece una cosa sencilla, es precisamente la operación más difícil de cuantas hemos descrito, y requiere bastante práctica hasta conseguir hacerlo con la precisión debida. Depende esto, en primer lugar, de que la diferencia de luminosidad entre la mitad sombría y la mitad alumbrada del campo visual no es tan grande ni mucho menos como la dibujan los autores de petrografía. Hay bastante luz en la región sombra y bastante sombra en la región luz; esto hace que apenas se distinguan una de otra y que sea difícil llevar exactamente a coincidir con el hilo del retículo a la línea de separación entre ambas, la cual en algunos casos apenas se percibe.

Para aumentar la visualidad, cabe emplear los siguientes

recursos. En primer lugar, el del pulimento de la superficie, ya indicado antes. En segundo lugar, se debe de graduar bien la intensidad de la luz, aumentándola o disminuyéndola hasta que la separación entre las dos regiones alcance su máximo, para lo cual se separa o se acerca el foco de luz al aparato. En tercer lugar, se hace girar el hemisferio alrededor de su eje vertical para que cambie el sentido de incidencia de la luz, pues es un hecho comprobado que con determinados sentidos de incidencia la línea de separación se acentúa más que con otros.

Por último influye, mucho también el monocromatismo, por decirlo así, de la luz empleada. Cuanto más monocromática sea ésta más se acentúa la separación de las dos regiones.

Por esto, el mechero de gas y sodio es preferible a los filtros, y entre éstos dará el mejor resultado el que elimine más radiaciones del espectro distintas de la de 589 micras de longitud de onda. Para esto, como en toda operación delicada, el factor que más facilita los resultados es la experiencia personal adquirida a fuerza de hacer observaciones. Llega un momento en que lo que al principio parecía difícil, resulta hasta fácil, y esta experiencia está al alcance de todos los operadores con tal que posean la paciencia y constancia necesarias.

Para contribuir a la adquisición de este hábito, esto es, para acostumbrarse a ver la línea de separación entre las dos regiones, hemos apelado a un recurso cuya exposición puede ser útil al operador que comience a manejar el refractómetro. Consiste, simplemente, en invertir el problema, esto es, en elegir un mineral de índice o índices conocidos, por ejemplo, el cuarzo, que tanto abunda en las rocas, y substituir en la fórmula

$$N = n \text{sen } \theta$$

en vez de N el valor numérico de uno de los índices del cuarzo y obtener el valor numérico del ángulo, θ , única incógnita que queda en la fórmula.

Se elige un trozo de cuarzo en una preparación hecha al efecto, como se ha explicado antes: se lleva este trozo al centro del círculo del hemisferio, y se coloca el anteojo exactamente en la posición que corresponde al ángulo, θ . Mirando entonces por el ocular, aparecerá forzosamente en el campo visual la línea que separa las dos regiones, y haciendo las operaciones enumeradas antes conseguirá el operador acentuar lo más posible dicha línea, y se acostumbrará a verla, a apreciar su intensidad y a determinar bajo qué condiciones se ve mejor.

Los minerales que cristalizan en el sistema regular o cúbico, sólo poseen un índice de refracción y se comportan en el refractómetro como los cuerpos amorfos y los líquidos, para los que el campo visual se divide únicamente en dos regiones, una de sombra y otra de luz.

En los minerales unáxicos, o sea en los que cristalizan en el sistema cuadrático, y exagonal o romboédrico, hay dos índices, que se suelen designar con las letras n_g y n_p y que corresponden, uno al rayo ordinario, y otro, al extraordinario. Cuando se opera en el refractómetro con minerales uniáxicos, se obtienen en el campo visual dos líneas separadoras de zonas de luz y sombra, que corresponden a dos ángulos límites de reflexión total. Estas dos líneas se diferencian entre sí en un detalle característico: la una, la que corresponde al rayo ordinario, es inmóvil: esto es, no cambia de posición si se hace girar al hemisferio, y con él, la sección alrededor del eje vertical. La otra, por el contrario, se desplaza paralelamente a sí misma a medida que gira el hemisferio, y se ve alejando de

la fija hasta que llega a cierta posición límite, a partir de la cuál, si se continúa el giro del hemisferio, cambia el sentido del desplazamiento de la línea móvil, que vuelve a acercarse a la fija. Es preciso determinar con exactitud esta posición límite, y para ello se detiene en ella el giro del hemisferio, se mueve el anteojo con su tornillo micrométrico hasta que la línea móvil ocupe el centro del campo, y se lee el ángulo correspondiente cuyo valor, sustituido en la fórmula, nos dará el índice correspondiente al rayo extraordinario en el mineral que se trata. Así, pues, en los minerales uniáxicos, basta una sola sección para medir los dos índices n_g y n_p .

Ahora bien; al operar como queda dicho, se nota que la línea móvil se desplaza unas veces hacia el interior de la zona de sombra determinada por la línea fijada que corresponde al rayo ordinario, y que otras veces lo hace hacia el exterior de dicha zona: de donde resulta que en el primer caso el ángulo que corresponde al rayo ordinario es menor que el que corresponde al extraordinario, sucediendo lo contrario en el segundo caso. Esto equivale a decir que el mineral de que se trata es negativo en el primer caso y positivo en el segundo. Para demostrar esto, basta con recordar una de las definiciones más usuales del signo óptico.

El problema se complica un tanto cuando se trata de los minerales biáxicos. En ellos las dos líneas de separación de luz y sombra se desplazan cuando se hace girar el hemisferio y con él la sección. Cada una de ellas alcanza dos valores límites a partir de los cuales cambia el sentido de desplazamiento, y si se miden los ángulos correspondientes a estos cuatro valores obtendremos por medio de la fórmula cuatro índices de refracción. De estos cuatro índices el mayor y el menor son los n_g y n_p del mineral; pero falta saber cuál de los valores

intermedios es el que corresponde al índice n_m , o sea al de la dirección de la normal óptica del elipsoide. Para averiguarlo hay varios procedimientos, el más sencillo de los cuáles y el que usamos constantemente, es el de valerse de otra sección del mismo mineral orientada de distinto modo que la primera, ya que rarísimo será el caso de que la preparación sólo contenga una sección del mineral cuyo índice estamos tratando de medir; pero si tal sucediera, aun cabe apelar a hacer otra preparación de la misma roca hasta dar con otra sección distinta del mineral.

Operando sobre esta nueva sección lo mismo que con la primera, se obtendrán otros cuatro valores, de los cuáles tres serán iguales a los obtenidos sobre la primera sección, y uno de ellos distinto en ambas. Los tres iguales son los que determinan a n_g , n_m y n_p .

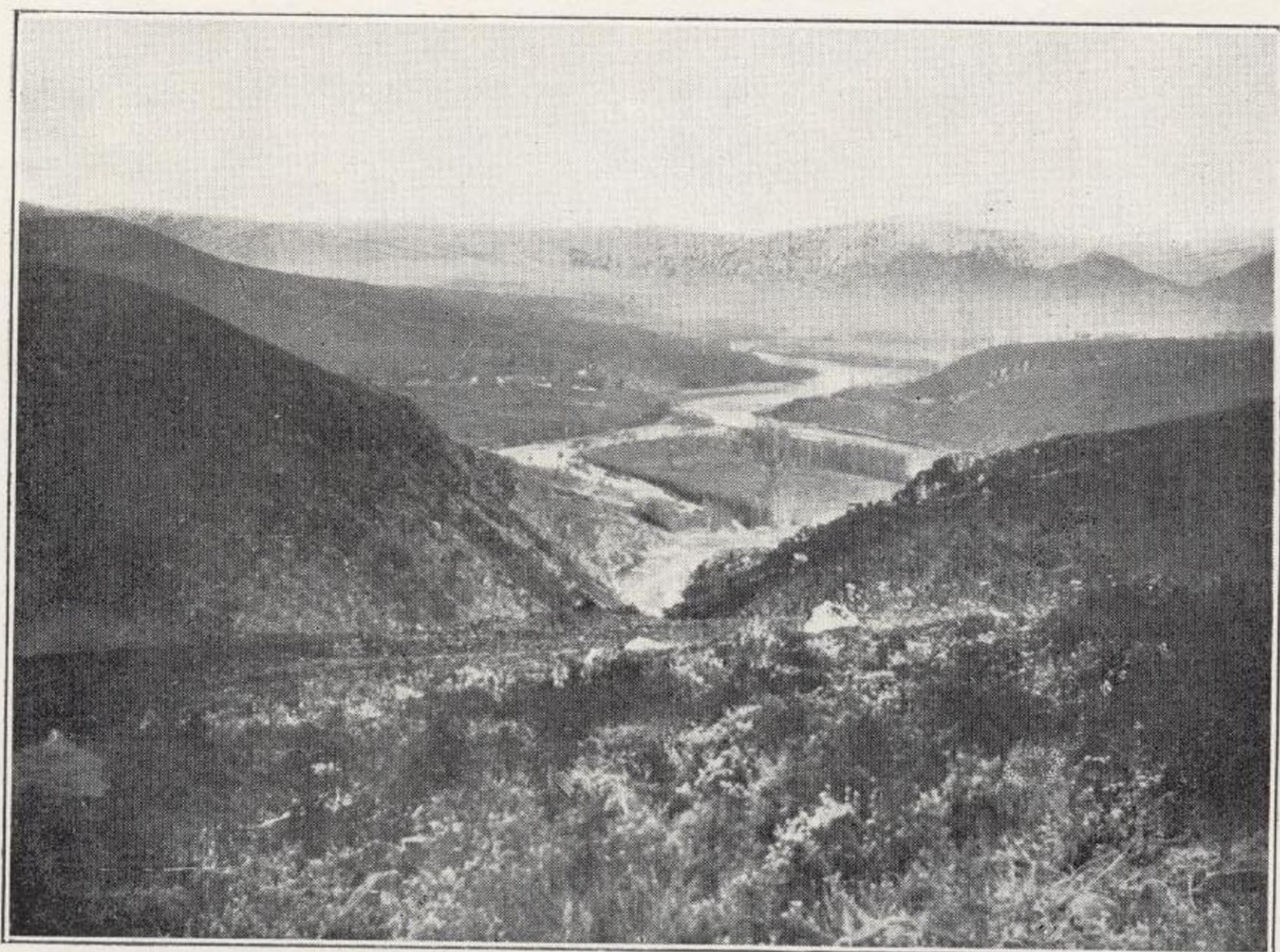
Resulta, por lo tanto, que por medio del refractómetro y valiéndose de una sola preparación de la roca, o a lo sumo de dos, obtendremos, como he dicho, con una exactitud que llega hasta una unidad del cuarto orden decimal, las siguientes constantes ópticas.

- 1.º El índice de refracción, los dos índices, o los tres, según que el mineral sea isótropo, uniáxico o biáxico.
- 2.º La birrefracción de los mismos.
- 3.º El signo óptico de los minerales birrefringentes.

Madrid, Diciembre 1923.



INFORME
 SOBRE
LA IMPERMEABILIDAD DEL PANTANO
DE BARCENA Y POSADA
EN EL RIO SIL
 POR
PRIMITIVO HERNANDEZ SAMPELAYO
 INGENIERO DE MINAS



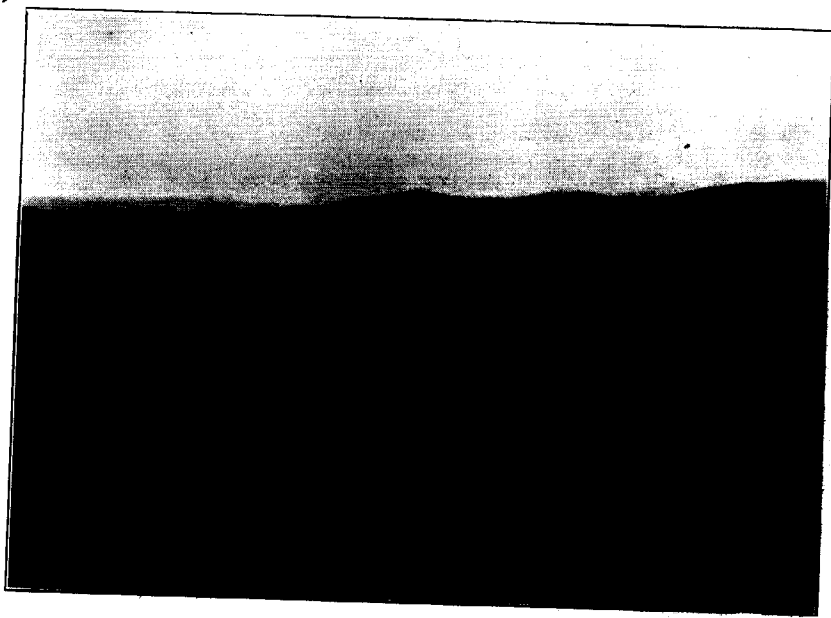
N.º 1.—Vista general del vaso, trozos 1.º y 2.º; al fondo (N), en la depresión de la derecha (E), está el tercer trozo.



N.º 2.—En primer término las peñas del Cierre; en el fondo (N), la Zona del Pantano.



N.º 1.—Vista general del vaso, trozos 1.º y 2.º; al fondo (N), en la depresión de la derecha (E), está el tercer trozo.



N.º 2.—En primer término las peñas del Cierre; en el fondo (N), la Zona del Pantano.

INFORME
SOBRE
LA IMPERMEABILIDAD DEL PANTANO
DE BARCENA Y POSADA
EN EL RÍO SIL

El vaso en conjunto está contenido en la gran mancha diluvial de Ponferrada que topográficamente tiene pocas elevaciones y constituye la mayor parte del Bierzo; su orientación es la del río, que se aproxima a NS. Esta comprendido en el cauce, desde una angostura producida por las rocas graníticas llamadas del Castillo, a unos 5 kilómetros de Ponferrada, hasta cerca de Santa Marina, a 8 kilómetros aguas arriba terminando como empieza, con otro estrechamiento. La disposición está, pues, dada por un gran ensanche entre los dos trozos estrechos; estas tres partes se diferencian bien geológicamente (fots. núms. 1 y 2).

En la garganta se proyecta la presa de 80 ms. de altura; contaremos como primer trozo no sólo la angostura del cierre, sino unos 600 m. siguientes de estratos cristalinos y paleozoicos.

El segundo trozo, a continuación, es una gran dilatación del valle, donde se encuentran los pueblos de Bárcena y Posada, limitada por líneas de colinas diluviales; esta superficie es la base del embalse.

Por fin, el tercer trozo lo contaremos desde que se vuelve

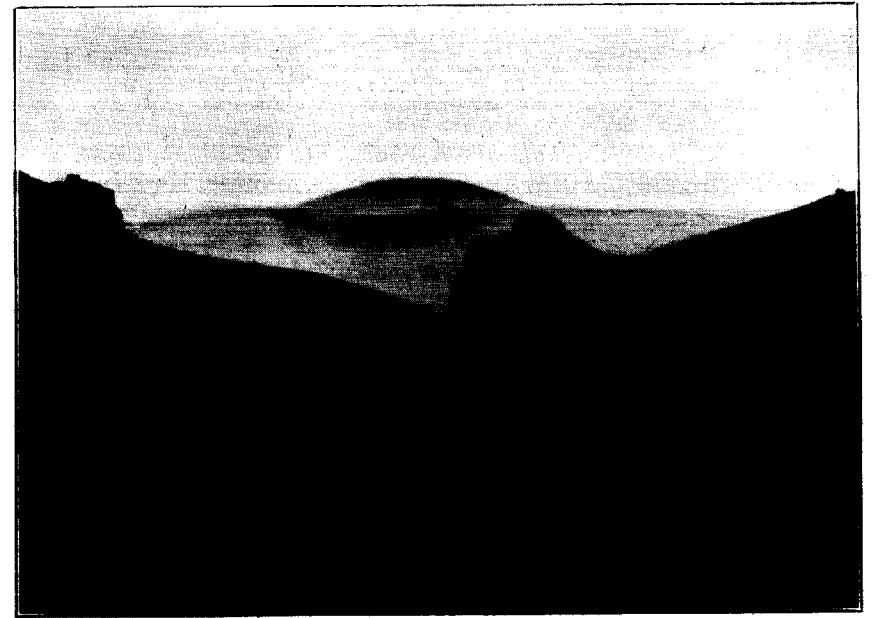
a estrechar el valle, en el puente de Congosto, hasta el final; es encajonado y formado de pizarras silurianas.

Primer trozo.—El Sil, después de atravesar la villa de Ponferrada, se encaja desde la fábrica de electricidad de la Sociedad Siderúrgica, en los estratos paleozoicos muy metamorfizados, cuarcitas y pizarras endurecidas, y después entra, cada vez más apretado, en el macizo granítico que forma isleo, desde Ponferrada hasta cerca de Castropodame; este isleo, hacia el O., llega próximamente al pueblo de Columbrianos constituyendo una de las dos colinas gemelas que por su igualdad y forma destacan su perfil muy a lo lejos y son conocidas por las «tetas del Bierzo». El Sil tiene poco recorrido en el macizo eruptivo y su curso atraviesa los lisos en que se divide el granito desde la llamada «Fuente del azufre», cruzados por vetas de cuarzo con turmalina y algo de wolfram, lo cual ha dado lugar a una serie de labores mineras en ambas márgenes.

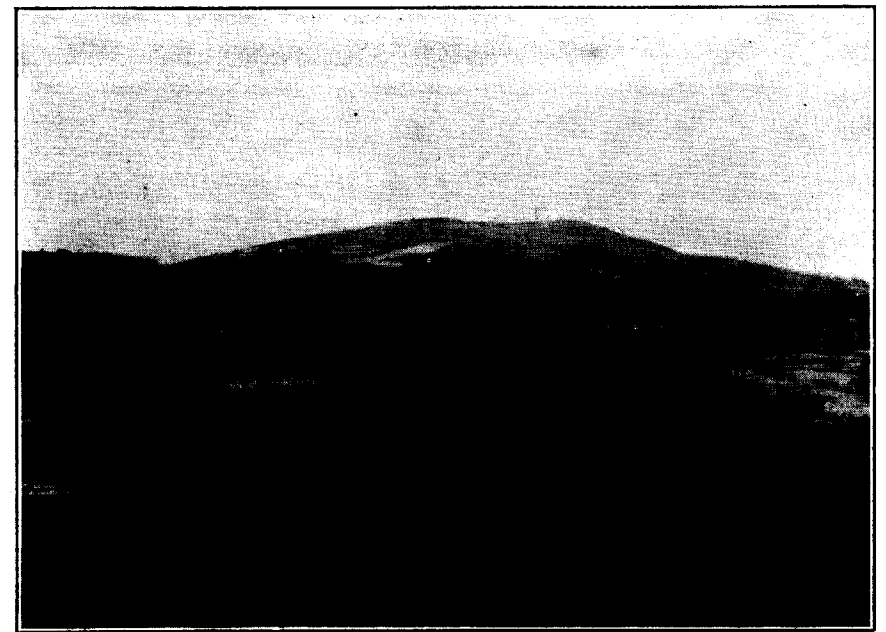
La salida del granito alcanzada hacia el Norte por el río la forman unas grandes peñas (fot. 3), conocidas por «Peñas del Castillo», que en una curva del río se orientan de N. a S. proporcionando un excelente sitio de cierre. El granito es compacto, bastante alterado en la superficie, dando por resultado una masa arenosa que se aprecia bien en algunas excavaciones sobre los montes de Santo Tomás de las Ollas (cota 560).

No se ven fracturas ni fallas en el macizo granítico que hagan temer escapes de agua, pues los bancos señalados como división del granito son una veces de estratificación simulada y otras de porciones de gneis de grano fino.

En contacto con el granito, y siempre haciendo el recorrido hacia el N., encontramos unos estratos pizarrosos oscuros muy metamorfizados y colmados de distintos silicatos, granates en algunos estratos, pero en su mayoría silicatos de alúmina que



N.º 3.—Cierre del pantano en Granito.—«Peñas del Castillo»; al fondo (S) corre el río, fuera del vaso, hacia Ponferrada.



N.º 4.—Bárcena del río y su vega, que serán anegados.



N.º 3.—Cierre del pantano en Granito.—«Peñas del Castillo»; al fondo (S) corre el río, fuera del vasó, hacia Ponferrada.



N.º 4.—Bárcena del río y su vega, que serán anegados.

se entrecruzan dando a las rocas aspecto compacto. Estas capas pertenecen a la llamada aureola del granito y por su textura cristalina pueden clasificarse como del estrato cristalino. Sin embargo no las supongo arcaicas sino originadas por la deformación de otras silurianas, pues a continuación, hacia el N., se presentan unas pizarras negras, bastante grafitosas y aun muy maclíferas, que van descargando de cristales en su tramo a medida que se alejan del granito y luego, desde antes de llegar al pueblo de Bárcena, alternan con bancos de cuarcita de aspecto decididamente siluriano. Las pizarras que en Bárcena y frente a este pueblo se encuentran entre las primeras cuarcitas son muy carbonosas y desmenuzables, pero precisamente por este carácter y el ser arcillosas, dan garantía de impermeabilidad. Estas pizarras se prolongan al O. de Bárcena constituyendo en una longitud de 2.000 m. la Teta del Norte que llega al pie de Columbrianos; en la margen izquierda, antes de llegar al pueblo de Posada del Río, las pizarras ya se hacen tegulares, aunque siempre algo maclíferas y los bancos de cuarcita toman potencia y aspecto ordovicenses.

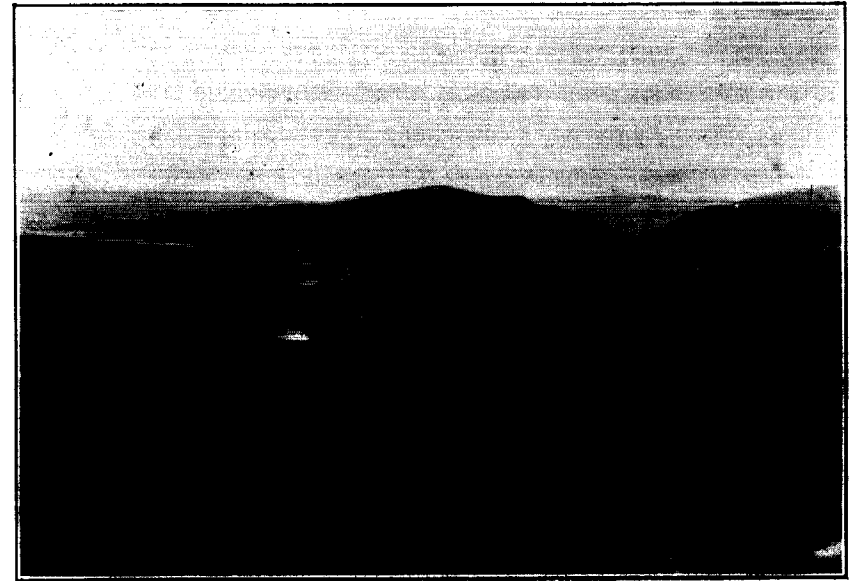
Todos los estratos cristalinos y paleozoicos de este trozo están dirigidos casi de E. a O. buzando al N. y bastante tendidos; ahora bien, como el río, a pesar de sus numerosas curvas, tiene una dirección próximamente N. S., resulta que la corriente y los estratos se cruzan perpendicularmente, posición la más desfavorable respecto a su permeabilidad, puesto que el agua, una vez que esté embalsada, buscará todas las fisuras según los estratos, que es como suelen producirse en este diastrofismo isoclinal; sin embargo, la clase de lechos (arcillosos y compactos), así como lo comprimidos que han sido en sus pliegues y movimientos, tranquilizan en absoluto y esta opinión viene a ser recalcada por dos hechos: 1.º, por el grado

de alteración de las pizarras negras del tramo, lo que al final produce arcillas impermeables y hace improbable el sostenimiento de grietas de importancia en materiales tan delezna- bles; la 2.^a consideración de seguridad se funda en que los espesores de las paredes del vaso en este primer trozo estrecho son de cerca de dos kilómetros en ambos lados, tanto hacia la explanada de Columbianos, como hacia el valle de Boeza, al E.; y aunque formados esencialmente por los estratos arcillosos, están rodeados y como reforzados exteriormente, hacia los valles paralelos, por un cordón de arcilla y aluvión arcilloso, refractarios al paso del agua.

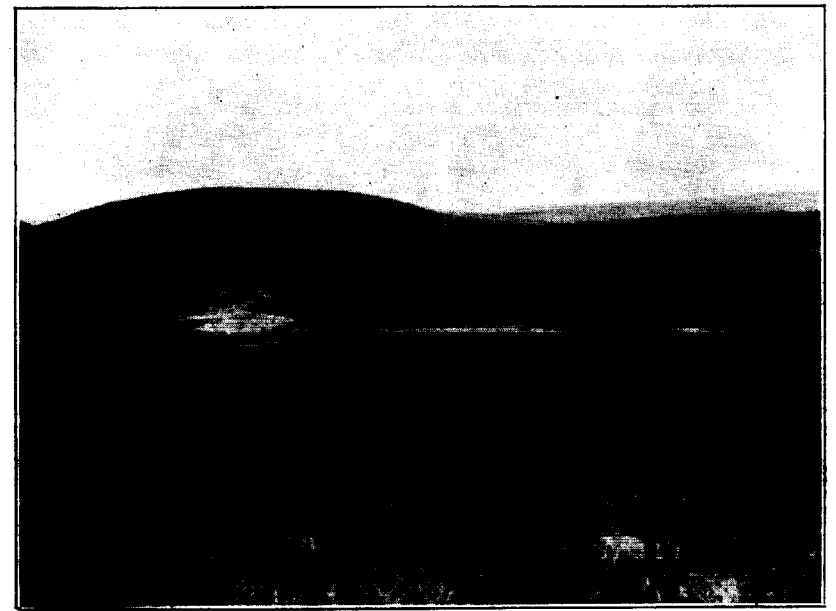
Desde los escarpados bancos de cuarcita, frente a Bárcena, que por su dureza han obligado al río a producir el ensanche y desviación delante de este pueblo, entramos, hacia el Sur. en el gran valle que, para nuestro estudio, suponemos como segundo trozo (fot. 4).

Segundo trozo.—Por el contenido de que es susceptible re- presenta la parte principal del vaso. Es un gran anchurón del valle que tendrá unos 3.500 m. en sentido del largo del río, por 1.600 de ancho; su fondo, en el cual presenta el río gran cantidad de curvas con el aspecto de curso divagante, es llano y está constituido por aluvión cuaternario; en todo el cauce y parte de la llanura donde no llegan las crecidas, hay tierra ve- getal con los cantos rodados del aluvión (fot. 5).

Las paredes laterales de este ensanchamiento, al E. y al O., están formadas por elevaciones suaves, y poco pronunciadas que enlazan, en cada caso y en ambas paredes, los dos trozos estrechos: el del cierre y el de Congosto. Estas barreras, se disponen según arcos suaves y separan el vaso, de la llanura de Cubillos al O. y del lecho de Boeza por San Miguel de Due- ñas al E. Cualquiera de las dos adquiere su menor espesor en

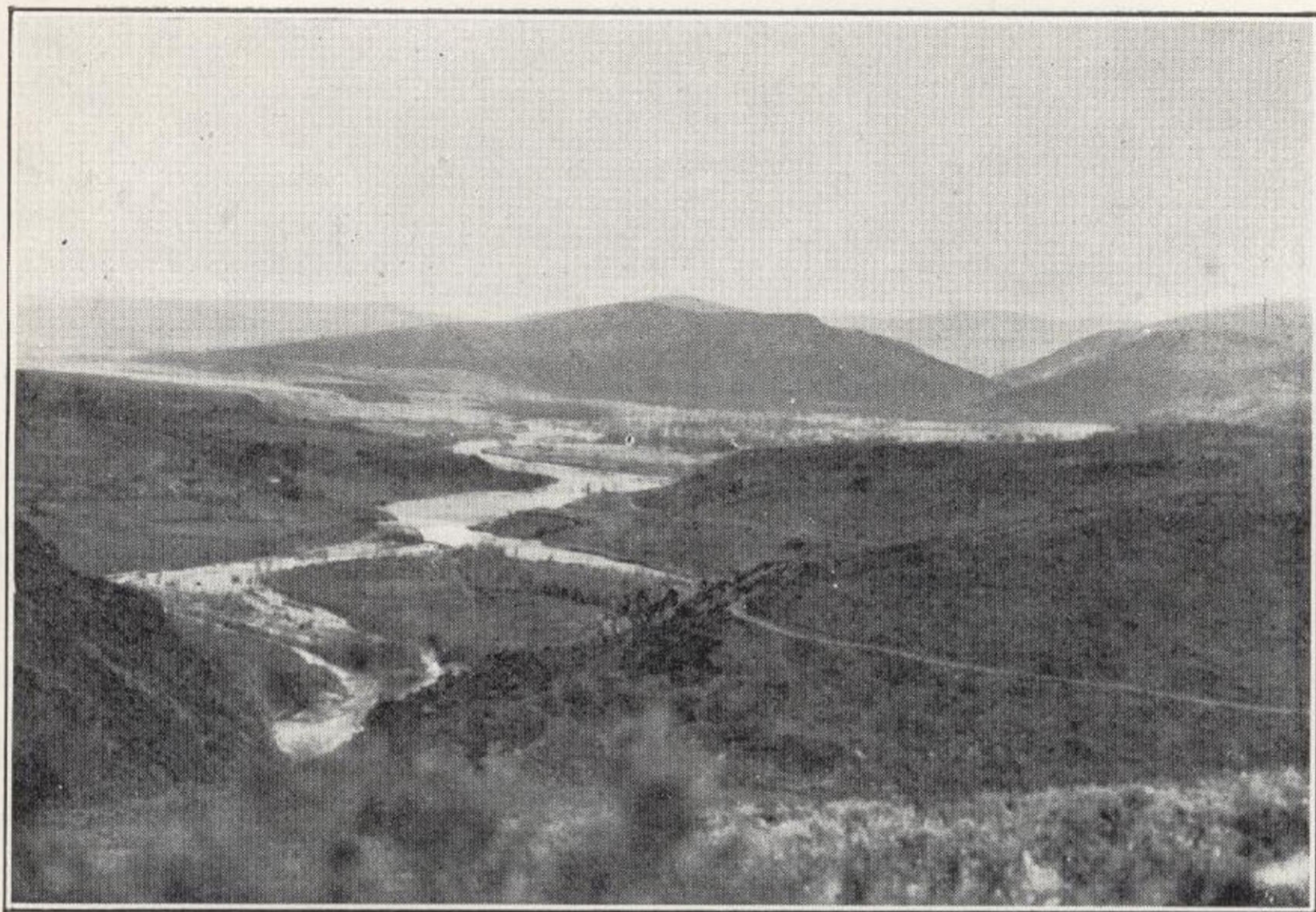


N.º 5.—Trozo segundo.—Ensanches de Bárcena y Posada; a la izquierda (O), la porción más débil del vaso

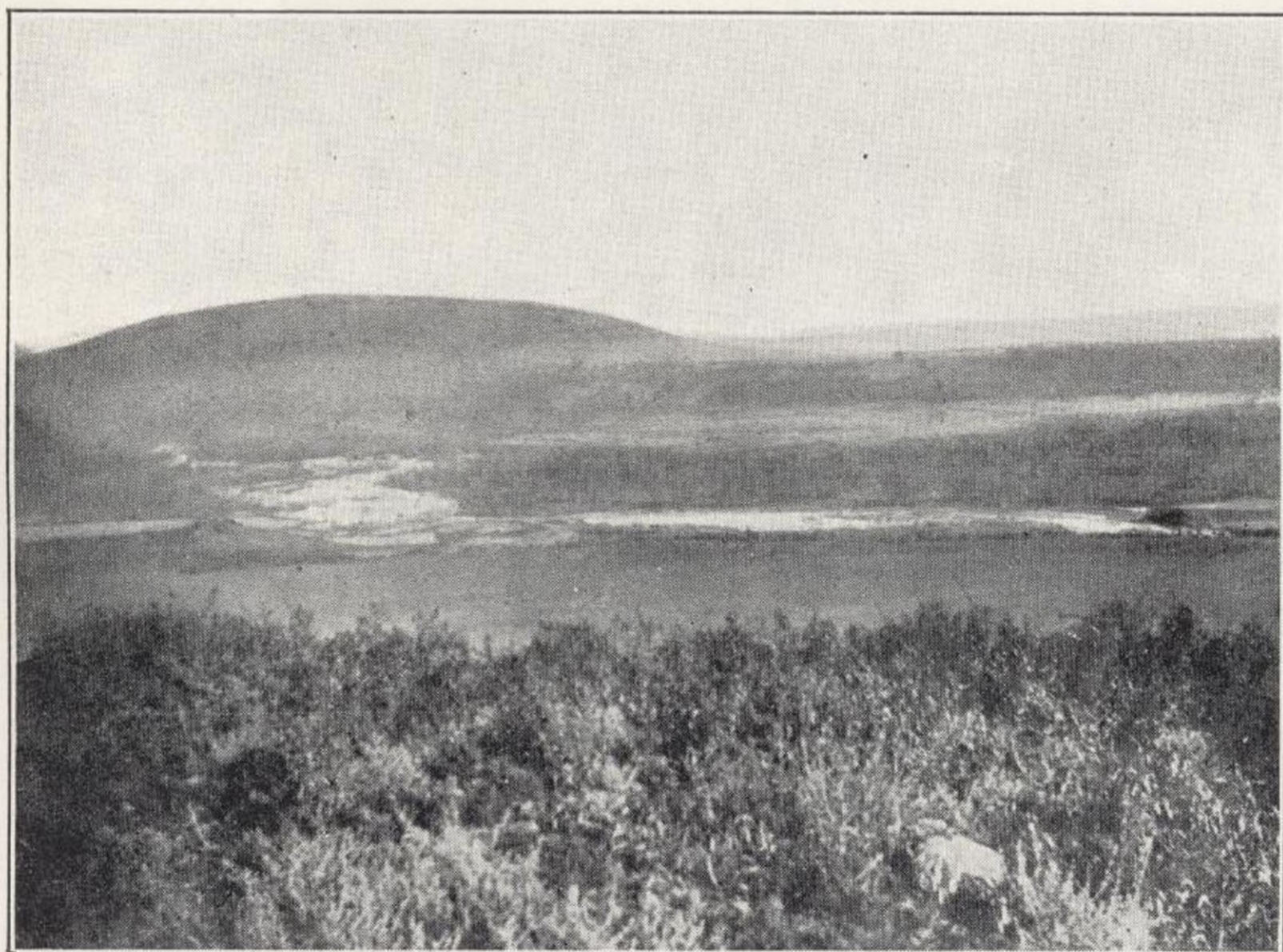


N.º 6.—Ensanche principal, segundo trozo; al fondo (E), con menor altura, la pared de arcilla y aluvión.

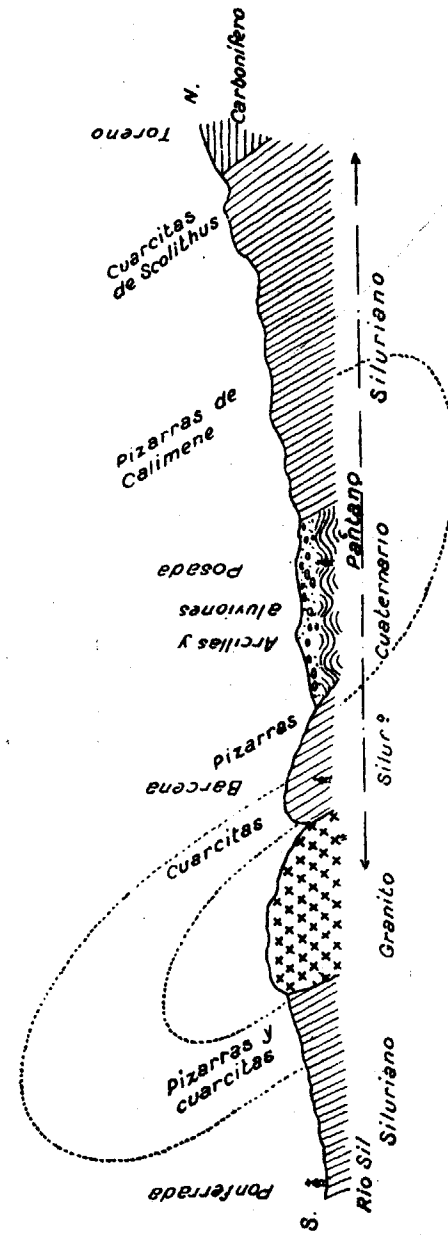




N.º 5.—Trozo segundo.—Ensanches de Bárcena y Posada; a la izquierda (O), la porción más débil del vaso



N.º 6.—Ensanche principal, segundo trozo; al fondo (E), con menor altura, la pared de arcilla y aluvión.



la curva de nivel máximo que tome el agua embalsada, puesto que es el punto más alto de contención (fot. 6).

La pared del E., que separa los ríos Sil y Boeza, tendrá unos 80 metros de alta, sobre el fondo, por 1.000 m. de ancha, en la línea más alta del embalse, mientras que en la del O. que limita con el llano de Cubillos, la altura será de 60 m. y la anchura, en el sitio más desfavorable, llegará a poco más de 200 m.; ese es el punto de menor fortaleza, y sobre él debemos concentrar la atención.

Geológicamente están formadas estas cadenas laterales por los estratos ocultos con los depósitos cuaternarios; encima tienen la arcilla del diluvium rojo con vetas amarillentas y ésta soporta a su vez a los aluviones.

La unión de las arcillas rojas con las capas paleozoicas está oculta a nivel del valle o inferior a él, puesto que la arcilla llega, por dentro y por fuera del vaso, hasta el pie de la pared, y en estas condiciones de un dique de arcilla encajado, desde el nivel del valle, entre estratos compactos, arcillosos y formando todo el conjunto más de 1.000 m. de espesor, se puede considerar prácticamente impermeable la unión de arcillas y estratos.

El tramo de arcilla tiene una disposición horizontal con una potencia de 60 a 80 metros, que es la altura de las lomas sobre el valle, quedando la curva de nivel del agua del embalse inferior a la unión de la arcilla con el aluvión, en casi todo el circuito del pantano. Las arcillas son muy compactas y de grano fino, con tono uniforme rojizo, poco estratificadas en general, y sin más diferenciación que vetas y manchas de tono amarillo, son bastante plásticas y en absoluto impermeables. Esta masa arcillosa lleva en algunos sitios intercalaciones de banquitos arenosos de poca potencia (hasta 50 centímetros),

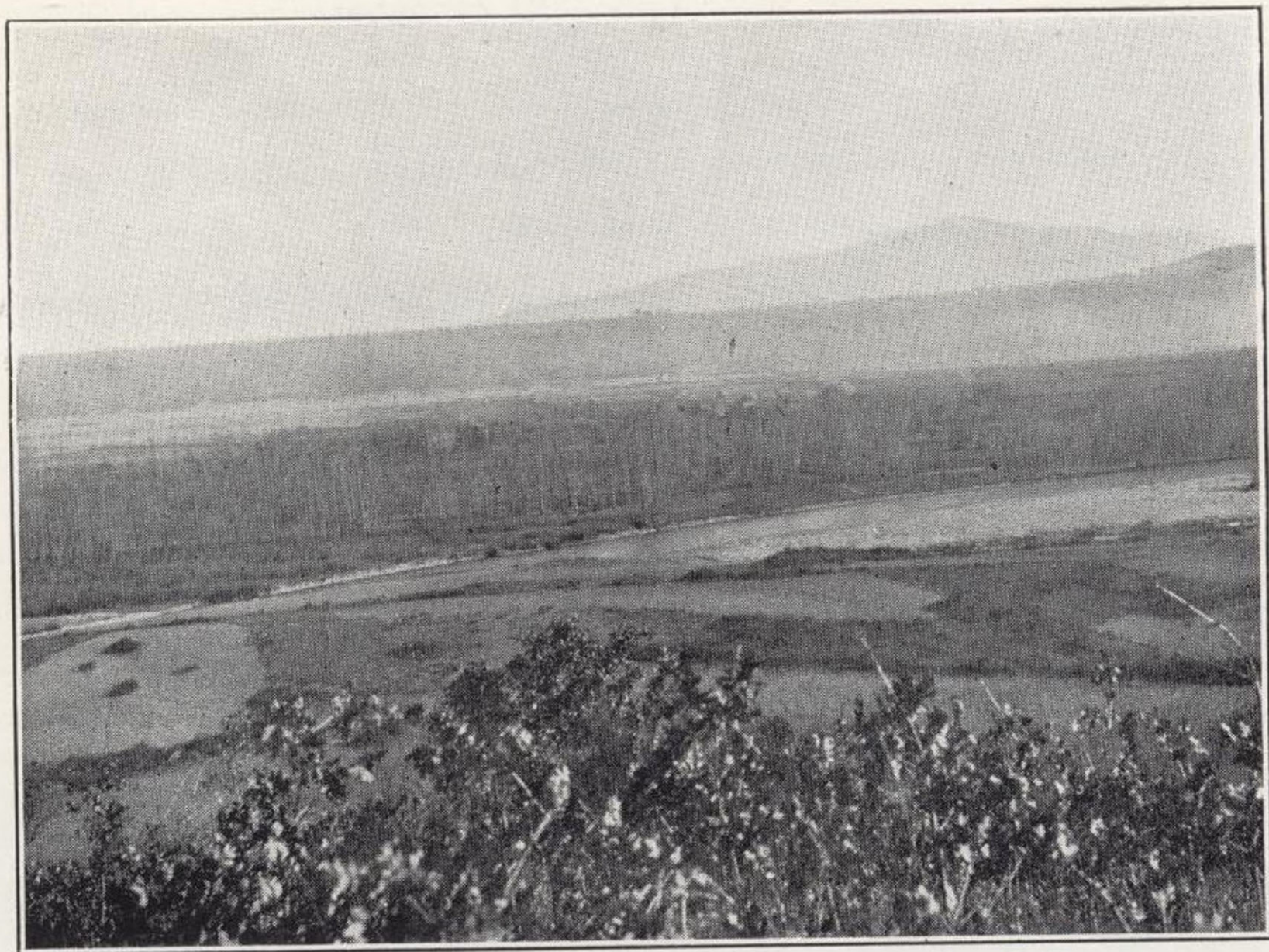


N.º 7.—Posada del río y su vega.—Al fondo (E), la pared Cuaternaria.

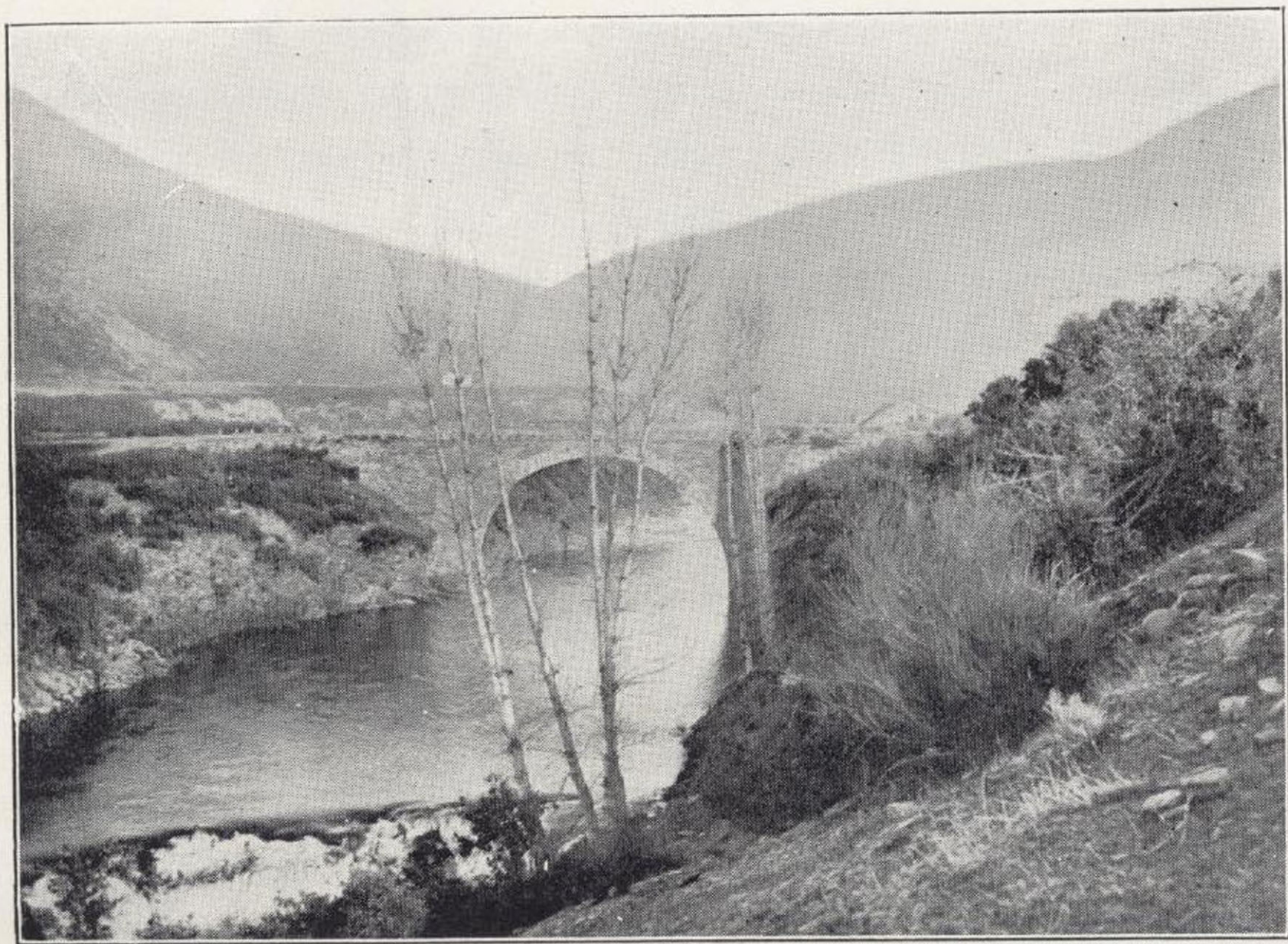


N.º 8.—Puente de Congosto; al fondo (N) principia el tercer trozo.





N.º 7.—Posada del río y su vega.—Al fondo (E), la pared Cuaternaria.

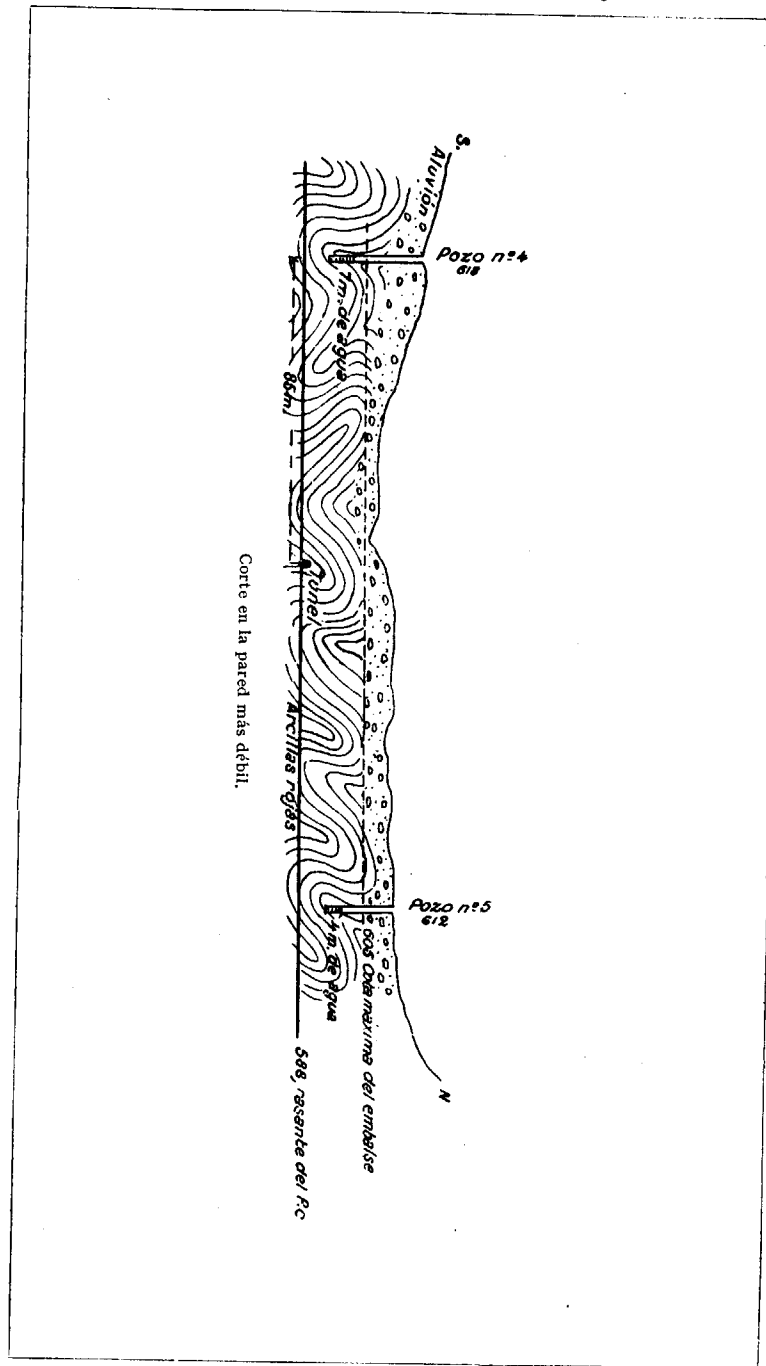


N.º 8.—Puente de Congosto; al fondo (N) principia el tercer trozo.

los cuales, dispuestos horizontalmente, como las arcillas en que están contenidos, se acuñan y terminan en recorridos de pocos metros; son pequeños depósitos detríticos de las aguas que depositaron las arcillas. Estos depósitos arenaceos están formados en general por granos limpios de cuarzo procedentes de la descomposición del granito y tan unidos y moldeados unos con otros que forman una roca compacta de alguna consistencia, aunque se desmenuza a la presión de las manos. Fueron descubiertos al practicar el túnel de Cubillos en el ferrocarril de Villablino y para investigarlos se profundizaron hasta 13 pocillos en las paredes arcillosas; del 1 al 7 en la del O. y del 8 al 13 en la del E.; en estos últimos no se encontró la arenisca, pero sí en los del O. del 2 al 5 faltando en los 1, 6 y 7 del mismo lado. Estos pocitos están alineados en ambas laderas reconociendo toda la longitud de la línea arcillosas (unos 5.000 m.) y como sólo en cuatro pocitos separados unos 1.000 m. se encuentra la arena, es esa la mejor demostración de su inconstancia respecto a la masa en que están contenidos. Los cuatro pocillos que encontraron las arenas son de unos 30 m. de profundidad, y aun cuando suministran enseñanza respecto a la constitución del tramo y relaciones de sus sedimentos, no resuelven el caso concreto, pues los fondos de los pozos están sobre la línea del embalse y únicamente en los números 1, 2, 5 y 6 pasa por bajo unos 10 m. de altura.

Han cortado, a partir de la superficie, de 8 a 15 m. de aluvión, y el resto, de arcilla, en la cual se encuentran algunos lechos de 16 a 60 centímetros de arena repartidos en una potencia de unos 8 m. y esto se ve mejor en la trinchera del túnel de Cubillos, frente a Posada del Río (fot. 7).

De cualquier modo se comprende la poca importancia que, respecto a la impermeabilidad del pantano, pueden tener



estas lengüetas de arena, puesto que, además de poco potentes y compactas, están contenidas en la masa impermeable de arcilla. Como prueba fehaciente se pueden citar los pocitos números 4 y 5 entre los que pasa el túnel de Cubillos.

En el corte adjunto, a escala de milímetro por metro, se puede apreciar, como el tramo de arenas no deja escapar el agua de los pocillos, apesar de la rotura próxima de rocas que representa la perforación del túnel.

Sobre la masa arcillosa descrita, se encuentra el aluvión con potencias que varían de 2 a 20 m., sus cantos son de cuarcita siluriana y alguno de cuarzo o pudinga carbonífera, y la masa que los enlaza es de tierra muy arcillosa que en seco se desagrega con facilidad; la dimensión de los cantos varía de 2 a 15 centímetros de diámetro y su volumen representará un tercio con relación a la masa de tierra y arcilla.

En un solo sitio hemos visto el cemento con consistencia y ha sido en las primeras casas al N. del pueblo de Bárcena y en ese caso, muy poco representado, se da lugar a una pudinga feruginosa de grandes elementos; los depósitos en conjunto equivalen a restos morénicos de los heleros que debían descender desde los Picos de Ancares.

El aluvión de masa arcillosa cubre no sólo las paredes del segundo trozo que estudiamos, sino que forma un verdadero cinturón alrededor de todo el vaso.

Desde luego, se comprende que es un buen cierre para el agua y no queda en este tramo cuaternario más que examinar la unión del aluvión con la arcilla rofa inferior. Sus cantos rodados sin la tierra, y lavados por las aguas, forman el fondo del curso del río y la zona que suele desbordar.

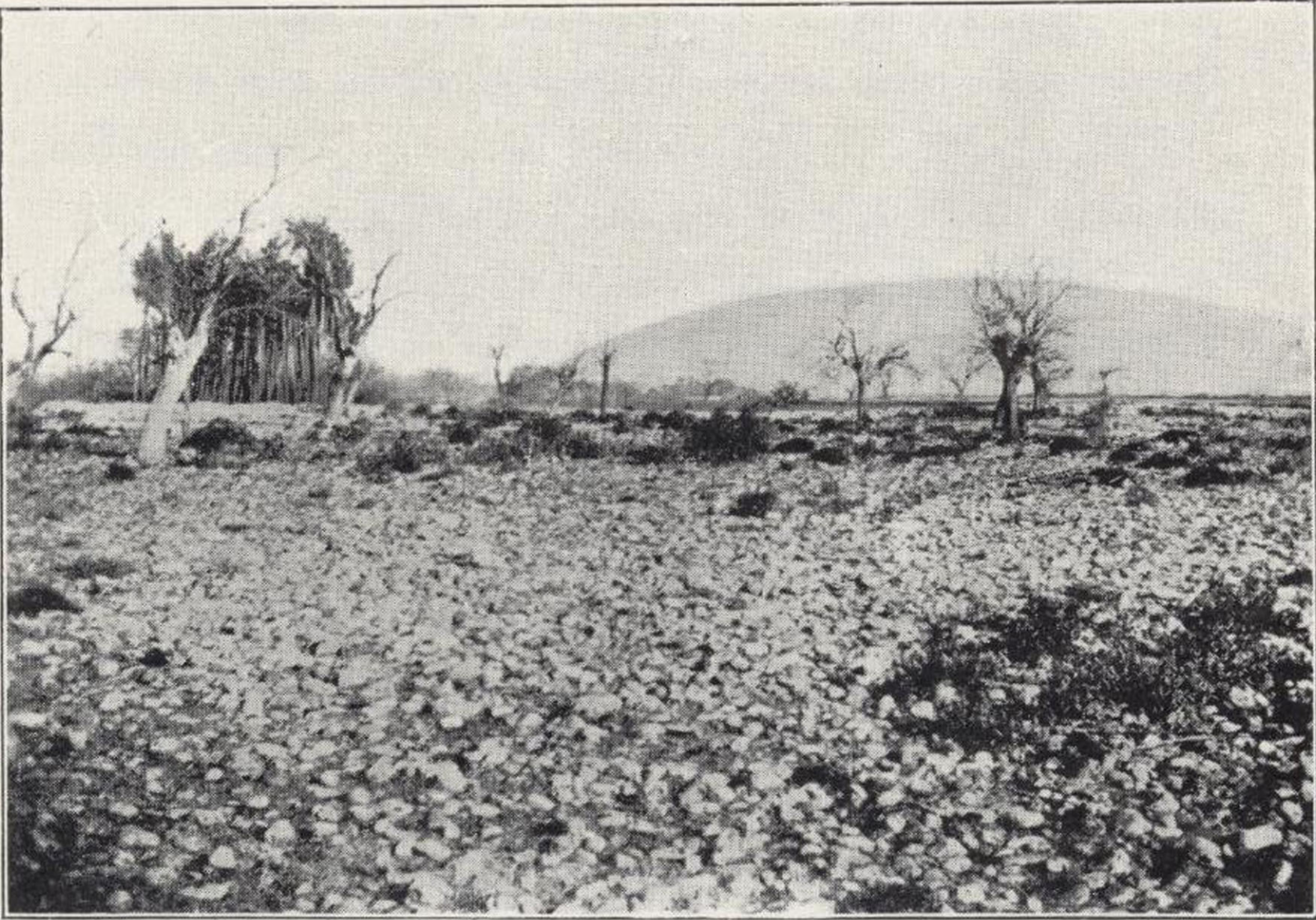
En el pozo número 1, el más próximo al pueblo de Bárcena, se encontró, dentro de la arcilla, una capa de aluvión lavado

que dejaba pasar una débil corriente de agua hacia el valle, y como confirmación de este paso de agua, vemos que la que hubo durante su ejecución desapareció, estando en seco. Esta circunstancia, que parece representar un aviso peligroso, queda explicada al ver a unos 200 m. hacia el valle una pequeña fuente que se alimenta de las aguas hidrostáticas de esta ladera; y que la lámina de agua tiene que llevar esa dirección, es evidente, pues las arcillas rojas inferiores al aluvión suben mucho más del lado de la llanura de Cubillos, produciendo una inclinación en la superficie de unión; también queda probado que la corriente de agua que ha producido el paso entre los cantos del aluvión del pozoes poco extensa, porque próximo a él, sobre el pueblo, hay pozos con agua que se utilizan para el riego. Pero a parte de todas estas consideraciones, tenemos que el fondo de este pozo hace la cota 608 que es superior a la línea de embalse. De cualquier manera, y teniendo muy presente la enseñanza que nos ofrece, vemos: 1.º, que la arcilla se eleva mucho más que la curva del embalse por la puerta de Cubillos que es la exterior del vaso, y 2.º, que la zona de corriente de agua es de poca anchura y sólo sería perjudicial si, lo que no se ha comprobado, pasase el aluvión sobre la arcilla a un nivel mucho más bajo hacia la llanura de Columbianos. En una palabra, que en ese supuesto y poco probable caso de descenso, podría ser permeable un trozo de la superficie de unión de la arcilla y el aluvión, pero sería fácil de corregir por medio de un murito de cemento que, encajando en la arcilla inferior obturase la línea de unión; su espesor se podría teóricamente reducir al paramento, pues estaría apoyado en las masas de los dos tramos y en cuanto a su longitud no pasaría de 300 a 500 m. que es el largo que se puede suponer a la zona débil.

Esta supuesta zona es también la de menos espesor, pues



N.º 9.—Vega de Posada.—Aluvión que forma el suelo del pantano.



N.º 9.—Vega de Posada.—Aluvión que forma el suelo del pantano.

sobre el túnel de Cubillos, apenas llega a 300 metros; en realidad esta pared merece atención y aconsejamos, para poderla ejercer en condiciones, profundizar alguno de los pocillos hasta bajar unos 10 ó 15 metros de la curva de embalse y que servirán para vigilar los efectos del agua durante la carga del pantano, la cual debe de hacerse lentamente para, en caso dado, poder decidir si fuese precisa la construcción del muro a que nos hemos referido.

En cuanto a la pared del E. que es la izquierda del vaso, resultan improcedentes las observaciones de precaución, pues su arcilla siempre es superior a la curva del agua, según se atestiguan por sus pozos; carece de arenas y aluviones intercalados y su espesor se aproxima a un kilómetro en la parte más delgada.

Tercer trozo.—Consideramos como tercer tramo el comprendido desde unos 100 m. antes de llegar al puente de Congosto hasta el final, en una longitud de unos 5 kilómetros y caracterizada por volverse a estrechar el cauce del río que se ahonda en los estratos silurianos, e los que cruza perpendicularmente (fot. 9).

Las capas están como las del primer trozo, dirigidas de E a O., buzando unos 45° al N. Dominan las pizarras azuladas y filadios silurianos al principio, y pasamitas y cuarcitas al final; esta disposición hace suponer un sinclinal desde estas capas a las del tramo de Bárcena.

Los filadios del pueblo de Congosto, lo mismo a la orilla del río en la colina que soporta el arruinado convento, son objeto de explotación para obtener tejas excelentes; tanto estas pizarras tegulares como otras más arrugadas, con manchas ferruginosas y formando grandes macizos que llegan hasta la orilla del río, se ofrecen muy unidas y compactas, aun cuando

se encuentran muy falladas y plegadas; corresponden sus movimientos principales a la fase herciniana, coincidiendo quizás en muchos casos los barrancos subconsecuentes, a lo largo de los estratos, con antiguas fallas, pero sin negar que algunas litoclasas procedan de movimientos terciarios. De cualquier modo todas las hendiduras tienen que estar obturadas por los sucesivos hundimientos y descomposición de una roca insoluble y poco desagregable, como es la pizarra arcillosa. Sin embargo, esta zona después de Congosto es la más fracturada del recipiente aunque, por las razones expuestas, podemos considerarla como impermeable. Este tramo pizarroso es el de *calymene Tristani* del siluriano inferior, de cuyo fósil he encontrado varios ejemplares en las loseras del convento de Congosto. La parte cuarcitosa que domina al final del vaso es unida y compacta como la pizarrosa, y de disposición análoga. Tanto las cuarcitas como las psamitas corresponden al tramo inferior de la base del siluriano, habiendo encontrado varias especies de *tigilites* y *lingulas*.

El vaso termina hacia Santa Marina, siempre en los estratos silurianos y antes de llegar a los carboníferos que, aguas arriba se superponen en discordancia, casi horizontalmente, a los ordovicienses.

En gran parte de las laderas y cimas de este trozo hay depósitos de aluvión arcillosos, pero donde más importancia alcanzan es formando refuerzo a lo largo de la parte exterior de las paredes y esto se aprecia bien por las carreteras que al O. y al E. del valle del Sil, suben hacia el isleto carbonífero de Toreno y Matarrosa; como es natural, ese refuerzo contribuye a aumentar la impermeabilidad del tramo.

RESUMEN

Son tres los terrenos que integran el vaso; granítico, siluriano y cuaternario; el siluriano tiene dos tramos; cuarcitosa y pizarroso, mientras que el cuaternario se compone de arcillas inferiores y aluvión superpuesto, lo cual hace en conjunto cinco clases de rocas: granito, cuarcitas, pizarras, arcillas y aluvión.

Las cinco clases de rocas son impermeables, consideradas una por una, puesto que no son solubles ni desagregables, ni aun siquiera porosas.

Las únicas causas que podrían producir permeabilidad serían grandes fracturas o mala unión de unas rocas con otras.

El granito forma el cierre y unos 500 m. del primer trozo; no se aprecia en él fractura ninguna importante.

Las cuarcitas se ofrecen en dos sitios: en Bárcena, con sus acantilados frente a dicho pueblo en la margen izquierda y al final del vaso; en el Bárcena alternan cinco veces con las pizarras maclíferas, mientras que cerca de Santa Marina son capas más potentes entre las pizarras tegulares y psamitas; en cualquier de los dos casos no están fracturadas, y aun cuando lo estuviesen, como contenidas entre pizarras se referiría a estas últimas la permeabilidad.

Las pizarras forman el primer tramo junto al granito, donde son muy cristalinas y compactas, alternan en el tramo de Bárcena en forma carbonosa y desmenuzable con las cuarcitas y forman casi todo el final de la cola del embalse como filadíos tegulares. En la disposición carbonosa y desmenuzable son muy impermeables, pues las numerosas y pequeñas grietas que permiten en ellas la endeblez de la roca, quedan

obturadas por los hundimientos obligados que van taponando las fisuras con detritus insolubles y deformables por las aguas. Las litoclasas en el tramo de pizarras tegulares son mucho más importantes, puesto que siendo la roca más dura se divide en macizos más definidos y separables, pero el hundimiento en ellas de trozos que al final son arcilla, las hace perder importancia y obtura necesariamente.

Las arcillas del diluvio rojo y los aluviones arcillosos no pueden entrar en cuenta respecto a las grietas que pudieran existir en su masa, pues se cerrarían por el mismo mecanismo que las producidas en los macizos pizarrosos, pero con rapidez inmensamente mayor. La distribución de estas dos rocas es en las paredes del ensanche grande de Posadas, extendiéndose el aluvión en una superficie mucho mayor, pues no sólo recubre las cimas suaves de las arcillas en esos muros del trozo medio, sino que se encuentra sobre las pizarras de Bárcena y gran parte de las de Congosto, en la margen izquierda, recubriéndolo también alguna porción de granito. En toda la parte exterior del vaso forma un verdadero cinturón con sus depósitos lo que produce refuerzo para la impermeabilidad.

En lo que respecta a la unión de unas rocas con otras y teniendo en cuenta que el mayor despegamiento favorece el paso de las aguas hidrostáticas y la salida de fuentes, vemos la gran escasez en toda la superficie del embalse y por excepción, son algo más frecuentes en el trozo estrecho final donde surgen en las litoclasas del tramo pizarroso; en cualquiera de los casos es pendiente su caída y a poco que se pueda seguir su curso se comprueba que tienen un origen superior en cota a la línea de embalse lo que nos asegura respecto a la inversión de corrientes una vez efectuada la carga.

Las superficies de las distintas rocas están adheridas entre

sí y únicamente el aluvión puede dar lugar a un paso que se labraría en su unión con el otro tramo una vez que, aunque fuese lentamente, se iniciase la corriente del agua. Y esto tendría dos fundamentos: una la impermeabilidad de la roca inferior y otro los conductos que van dejando los cantos rodados al limpiarse de la arcilla que los enlaza (fot. 10).

Que el nivel hidrostático tiene su límite en la superficie de unión formando una capa acuífera, se comprueba en el caso del granito, por medio de algunas excavaciones practicadas en los altos de Santa Tomás de las Ollas, y en la zona más débil, con los pocitos que llegan a las arcillas rojas a través del aluvión.

Por la descripción hemos visto que el único sitio en que podría presentarse la duda de escape por mala unión, sería en esa zona débil, en el supuesto, no comprobado, de que el aluvión pasase a la llanura de Cubillos, caso en cual se podría corregir fácilmente con un paramento fundado en la arcilla que impermeabilizase la unión.

Podemos deducir:

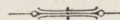
1.º El vaso está compuesto de rocas que forman un conjunto impermeable.

2.º Aconsejamos hacer la carga con atención sobre la pared O. de la zona ancha. Los pocillos profundizados pueden servir para la vigilancia. En el caso improbable de escape se corregiría fácilmente con un murete sencillo que tapase la unión del aluvión y arcilla.



PLANO GEOLÓGICO DEL CAUCE DEL SIL EN LA PARTE COMPRENDIDA ENTRE PONFERRADA Y LAS LOSERAS DEL CONGOSTO

Por Primitivo Hernández Sampelayo
Ingeniero de Minas



RECTIFICACION GEOLOGICA
DE LAS
CUENCAS DEL NAVIA Y DEL IBIAS
POR
PRIMITIVO HERNANDEZ SAMPELAYO
INGENIERO DE MINAS

RECTIFICACION GEOLOGICA
DE LAS
CUENCAS DEL NAVIA Y DEL IBIAS

El estudio atento de la cuenca de estos ríos, con objeto de dictaminar acerca de su impermeabilidad, nos llevó a examinar si la rectificación que se imponía en Doiras (Boal), por el encuentro de *Calymene* y *crizianas* debía de extenderse hasta la cordillera Cantábrica, hacia los pasos del Bao y Leitariegos, investigando al mismo tiempo la prolongación de los yacimientos del mineral de hierro.

Resultado de este examen son las siguientes notas, que damos a continuación, del estudio de impermeabilidad, puesto que de él se derivaron como cadena de deducciones.

Zona examinada.—Es la que comprende el trazado del ferrocarril de Villablino desde el extremo del ramal de Caboalles hasta el río Ibias (1). El paso probable del ferrocarril en proyecto de Villablino a Villaodríz debe encontrarse en el puerto de Cerredo, al que se llega partiendo de Caboalles y tomando después las aguas del río Ibias. El trazado continuaría por el pueblo de Legaña y cruzando el río por bajo de Rebollar pasaría en un túnel a salir al arroyo que contiene los pueblos de Tablado, Sisterna y Bao, siguiendo las aguas del

(1) Véase plano de D. Guillermo Schulz.

cual se va a dar en el río Ibias en el sitio conocido por el Furacón; desde este punto coincidirá la línea con el curso del Ibias hasta su confluencia con el Navia en Ouviaño.

Nuestro recorrido comprendió el citado anteriormente como probable para el ferrocarril y además hicimos los itinerarios del Bao a Tormaleo y del Bao al Carbonífero de Cangas de Tuevoi.

Terrenos reconocidos.—Los terrenos geológicos examinados han sido el Siluriano inferior y el Carbonífero superior.

En el siluriano inferior de la parte occidental de Asturias y Galicia se encuentra como normal un horizonte de mineral de hierro que es el que da lugar a las explotaciones de Porcia y Villaodrid y a los crestones de las corridas que arrancando del mar se siguen en cincuenta kilómetros. Estos horizontes ferruginosos, situados en las pizarras de *Calymene* y sobre las cuarcitas de entrada del sistema, representan los únicos minerales de hierro de carácter industrial.

En la zona recorrida el siluriano está brillantemente representado por cuarcitas muy plegadas y filadios arcillosos superpuestos, que son los que contienen los horizontes ferruginosos.

Todos los estratos ordovicienses considerados de Norte a Sur se disponen en grandes arcos arrumbándose al Nordeste en la costa, de Norte a Sur, en la zona que corresponde a los paralelos de los Oscos, Illano, Pesoz, Grandas y Lago, y por fin, más al Sur, se disponen con rumbo al NO., completando los arcos cuya convexidad mira al Occidente.

Los buzamientos van haciendo variación en toda esta gran curva, y de NO. que son en la costa se convierten en occidentales en la parte central, para terminar inclinando los estratos al SO. a medida que avanzamos hacia el S. De este modo

quedan las capas silurianas encajadas unas en otras como elipsoides cuyo menor tamaño estuviese hacia Oriente (1). Señalamos esta ley de presentación para hacer ver que la estratigrafía debe ser la misma en cualquier corte normal a los arcos trazados por los isleos silurianos, deduciéndose de un modo sencillo que en el corte que de E. a O. marca el río Ibias deben también encontrarse las capas de mineral de hierro, puesto que se ofrecen en los cortes homólogos de la costa.

Las corridas de mineral presentadas en el litoral, y la prolongación de las cuales se debe investigar con legítima esperanza, dada la normalidad de las leyes orogénicas, son tres: arranca la más occidental de las alturas de Pousadoiro y Acebedo (pueden seguirse los puntos en el plano de Schulz) sobre Tol, cerca de la costa de Castropol; los afloramientos de estas capas son de hidróxido de hierro, cambiándose en carbonato espático en la bajada a Presno. La corrida de estos minerales continúa por la sierra de Bedules para dar lugar en Busdemouros a una importante capa de excelente carbonato y más de seis metros de potencia, ya explotada anteriormente. Desde aquí las manifestaciones ferruginosas se reducen a crestones de rubio que, atravesando el macizo de Villanueva de Oscos, parecen enlazarse con los afloramientos de Fonfría, Monteseiro y Sierras de Linares de Bedul y Sena, por donde vienen a dar en el cordal de Pelliceira con los minerales de Rao

La segunda corrida arranca en Porcia, y por Valmonte y la Bobia entra igualmente en los Oscos para salir por Peñafuente, en la sierra del Acebo; la prolongación meridional de esta corrida, señalada por sus cuarcitas, cruza el Navia al Este de Ouviaño y más al S. de Valdebueyes para venir a integrar la sierra del Ciallo con sus pliegues gigantescos y cortar el

(1) Véase: *Historia de la costa de la provincia de Lugo.*

rio Ibias entre Taladriz y el Bao, en el paraje llamado Furacón.

La mancha siluriana que así hemos señalado es la de más interés, por dos razones: porque sobre ella están las minas más importantes, como son las de Porcía en el Franco, y la Hermosota y San Miguel en los Oscos, y porque sus capas entran de lleno en los parajes examinados.

La tercer serie de minerales la constituyen los de Luarca que desde los acantilados de la playa se siguen por las sierras de Buseco y Bustantigo hasta Lago y, desde aquí, hacia el Sur pasan las cuarcitas a lo largo de las sierras de Valledor, Valvaler y Valdebueyes, hasta cruzar el Ibias por cerca de Corralín, formando una ampliación lateral del pliegue anteriormente citado.

Carbonífero.—Después de los movimientos hercinianos que obligaron a las capas paleozoicas contra el gran macizo granítico de Galicia, empezaron a depositarse los sedimentos carboníferos en discordancia sobre los ya plegados.

La tendencia general durante todo el sistema fué la de hundimientos lentos de la cuenca, produciéndose así la transgresión paulatina hacia Occidente de los tramos superiores del carbonífero y así vemos cómo se pone la caliza carbonífera en contacto con la cuarcita siluriana en la parte central de Asturias, mientras va desapareciendo a medida que nos alejamos al S. y a Occidente, al cortar los arcos hercinianos más distantes, para dejar paso a unas pudingas, de grano muy variable, pero rocas de constantes elementos detríticos que señalan la entrada del Estefaniense en discordancia con el siluriano inferior. Estos depósitos carboníferos son los que constituyen la zona de Tineo y Cangas y los que, subiendo por el Narcea y proximidades de Monasterio y Gedrez se enlazan por Ferredo con el isleo de Caboalles, que es el mismo de Villablino

y Villaseca. Los depósitos quedan a veces interrumpidos o representados únicamente por restos de las pudingas inferiores, pero de cualquier modo, y de un modo aproximado, completan la forma arqueada de los depósitos silurianos y sobre ella insistimos por la importancia que tiene para las investigaciones. La curva más exterior de los depósitos carboníferos podría estar representada por los pequeños depósitos del Bárcena, los de Tormaleo y los de Fabero y Toreno, que corren hacia el E. para formar los isleos carboníferos de Castilla.

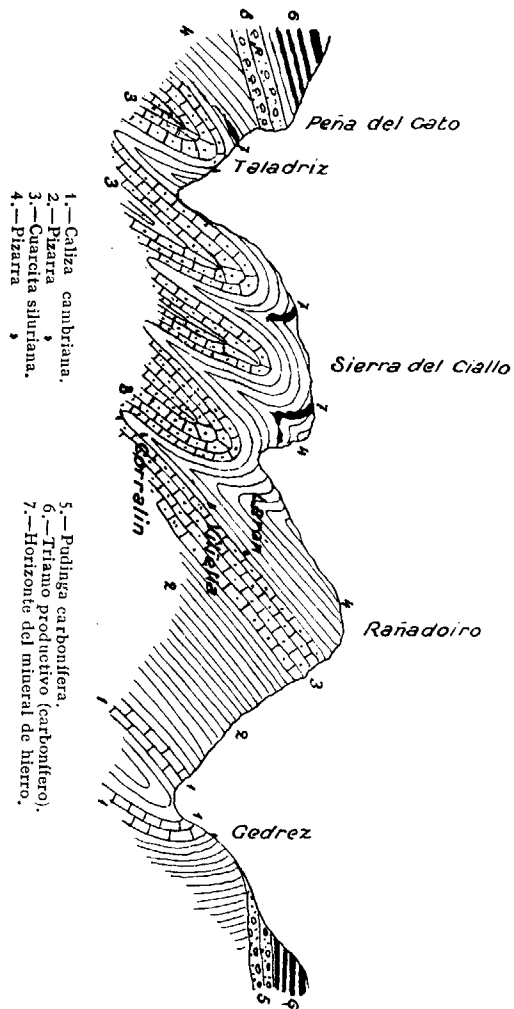
Los términos litológicos de este carbonífero superior son: una pudinga o arenisca gris, pizarras arcillosas granudas, muy fosilíferas con anularias, en el tramo medio y las capas de carbón intercaladas en su parte alta.

El número de fallas y los agudos plegamientos de estos depósitos carboníferos hacen que aparezcan muy repetidas las capas productivas simulando una mayor riqueza; sin embargo, la repetición de la pudinga restablece la serie de términos estratigráficos normales.

De las observaciones anteriores se deduce que sería probable, con una inspección detenida, el descubrimiento de algún pequeño isleo carbonífero que, según la disposición señalada pudiese alojarse en las laderas del Ibias, siguiendo la cuenca que este río forma con el Navia.

Para mejor fijar la posición relativa de los puntos de interés daremos un corte geológico, en esquema, desde el carbonífero de Tormaleo al de Tineo, cruzando los pliegues silurianos del Bao.

Corte geológico.—El carbonífero de Tormaleo entra en la Peña del Gato y forma, con su cornisa, todo el borde de la Sierra Carbonífera. La pudinga de la base descansa en discor-



dancia sobre las pizarras silurianas. Encima de la pudinga se ofrecen las pizarras de pecopters y anularia con una alteración muy repetida, y entre ellas varias capas de carbón cuyo número no excederá de seis, a juzgar por la presentación y espaciamiento que guardan en la pequeña cuenca.

Tanto la pudinga como los filadios silurianos en que descansa buzan al SO., pero es perfectamente manifiesta la discordancia angular.

A la salida de Llanelo se cruzan dos cuarcitas que representan un pequeño anticlinal, puesto que van seguidas de los filadios de Villarmeirin, y es en este segundo tramo pizarroso donde encajarían normalmente las capas de mineral de hierro.

Al O. se encuentran tres pliegues anticlinales de cuarcita casi seguidos, formando magníficamente los acantilados de la sierra del Ciallo sobre el río Ibias. Más al E. y después de algunas cuarcitas tableadas, volvemos a entrar en el macizo pizarroso por los pueblos de Viliella y Larón, en el cual cabe, del mismo modo, la colocación de los hierros ordovicienses.

En la parte alta de la sierra de Rañadoiro seguía la masa pizarrosa con algunas cuarcitas y antes de llegar a Gedrez las pizarras adoptaron la facies claramente cambriana presentándose después la caliza del tramo medio con mucha potencia y dispuesta en dos ramas; esta caliza del acadiense es la que se sigue desde Palacios del Sil a Cerredo y Gedrez, dando lugar a la rectificación que de este terreno hacemos en el mapa.

Al O., al final del corte, vuelve a superponerse el carbonífero a los estratos pizarrosos iniciándose con un conglomerado de elementos muy gruesos que repartido en isleos se extiende por el Narcea hasta Tineo.

Minerales encontrados.—Prescindiendo de la zona del carbón los demás minerales pudieron agruparse desde el principio en dos series minerales sulfurados e hidróxidos de hierro. Los sulfurados fueron en su mayoría piritas de hierro procedentes de grandes filones cuarzosos que cruzan todo este paleozoico de Asturias y Galicia, particularmente en las manchas cambrianas. Aun cuando en algunos sitios son auríferos en cantidad apreciable (hasta 120 gramos por tonelada), como lo son muy desigualmente los consideramos sin importancia industrial; consideraciones análogas pueden hacerse sobre los trozos de mispikel. En cuanto al cobre de los mismos filones, las cantidades comprobadas han sido tan escasas que no se pueden calificar más que de trazas. Las únicas muestras sulfuradas que merecían atención eran las de estibina laminar, idénticas a las menos explotadas en Villarbacu en Caurel (Lugo); pero las tales muestras fueron encontradas sueltas y las indicaciones sobre su yacimiento eran poco precisas.

En cuanto a los óxidos de hierro la mayoría pertenecían a los filones pirito-cuarzosos, de cuyo grupo se derivaban por oxidación de las piritas de hierro y el resto representaban delgadas vetas unidas a cuarzo; entre las vetas de este origen merecen citarse unos ejemplares de la variedad Goetita, a los que, sin fundamento, se les han atribuido propiedades radioactivas.

En las proximidades del Bao, en los afluentes de la margen izquierda del río Tablado, se encuentran algunos minerales procedentes de la oxidación superficial de una arenisca algo manganesífera.

A ninguno de los minerales examinados se le podía atribuir carácter industrial.

Resumen.—Del reconocimiento efectuado, unido a los es-

tudios anteriores sobre el Navia y los Oscos, se deduce la rectificación del mapa que ofrecemos (1) y la conveniencia de investigar las capas de hierro silurianas que, como prolongación de las de la costa, deben de cruzar de NO. a SE. entre las pizarras próximas a las cuarcitas señaladas.

(1) El plano Geológico a que se hace referencia en este trabajo se publicará, con el estudio sobre el Navia, en el próximo Boletín.

SALTOS DE URROZ

INFORME ACERCA DE LOS EMBALSES
PROYECTADOS EN LA REGATA LEUTSA

POR

JUAN GAVALA

INGENIERO DE MINAS

LOS EMBALSES
DE LA
REGATA LEUTZA EN URROZ
(NAVARRA)

Antecedentes.—El creciente consumo de energía eléctrica en un país como el vasco-navarro, totalmente desprovisto de yacimientos de combustibles minerales, ha obligado a las empresas industriales, tras el aprovechamiento de los ríos de caudal permanente, a la utilización de los arroyos de régimen torrencial, en cuyos valles pueden crearse embalses reguladores, y a este efecto se ha comenzado por estudiar la de aquéllos que, por la fuerte pendiente de sus cauces, pueden dar origen a saltos de gran altura, y compensar los gastos siempre crecidos que ocasionan la construcción de las presas.

De un aprovechamiento de este género se trató de hacer objeto en 1920 a varios arroyos del valle de Santesteban (Navarra), las regatas Leutza, Elcárrico y Anizpe, que en estiaje conducen caudales muy reducidos, pero que arrastran en invierno agua más que suficiente para obtener un gasto regulado de 300 a 400 litros por segundo. La topografía del terreno se presta a la creación de dos embalses escalonados en el valle superior de la regata Leutza, que sin excesiva altura de las presas pueden almacenar un total de 870.000 metros cúbicos, y a los cuales pueden derivarse fácilmente las aguas que bajan

por las regatas Anizpe y Elcárrico, confluentes entre sí y con la primera, aumentándose considerablemente de este modo la cuenca receptora de dichos pantanos.

Tan pronunciada es la pendiente de esos arroyos, si se exceptúa la sección de la regata Leutza, elegida para emplazamiento de los embalses, que desde la presa inferior hasta la confluencia de aquélla con la de Anizpe, un kilómetro aproximadamente, se ganan 320 metros de caída. Instalando una central en las proximidades de la indicada confluencia, pueden conducirse después las aguas de descarga por un canal apoyado en la ladera izquierda, hasta reunir las con las procedentes del manantial llamado del Molino de Urroz y disponer de un nuevo salto de 160 metros que se aprovechará instalando otro grupo generador en las inmediaciones del puente de Oiz.

Pero la viabilidad de este proyecto, que había de proporcionar una fuerza de 3.000 HP. en estiaje, estaba supeditada a la creación de los embalses mencionados de la regata Leutza. Era, por lo tanto, de interés primordial determinar si la constitución geológica del terreno que habrán de cubrir las aguas represadas, era favorable a tal empresa, y a este efecto, y habiendo sido encargado por la entidad constructora de dictaminar el asunto, llevamos a cabo un detenido reconocimiento del terreno en la segunda quincena de Mayo de 1919 y como resultado del mismo emitimos en 1.º de Junio de aquel año el siguiente informe:

Datos topográficos.—Es la regata de Anizpe una de las gargantas más importantes que surcan las vertientes septentrionales de la Sierra de Ulzama, macizo montañoso que separa las aguas del Bidasoa de las del Arga, formando parte, por lo tanto, de la divisoria entre el Cantábrico y el Mediterráneo. Desde sus orígenes hasta la desembocadura en el río

de Ecurra, en Santesteban de Lerín, poco antes de su confluencia con el Bidasoa, sigue dicha regata una dirección marcadamente rectilínea, arrumbándose al N. 10° E. Son sus principales afluentes: por la izquierda, la regata de Labayen o de Urroz, orientada de O. SO. a E. NE. y que termina en el pueblo de Oiz; y por la derecha, la que careciendo de nombre topográfico en el mapa, se orienta de Sur a Norte y pasa por el poblado de Donamaría, desembocando en el curso principal junto a la venta de este nombre. La primera es un valle tectónico que se ajusta en su trazado a una gran línea de fractura, prolongación de la que sigue el Bidasoa aguas arriba de Santesteban, y se orienta, como ocurre siempre en casos análogos, paralelamente a la dirección de las capas; la segunda, y la misma regata de Anizpe con sus pequeñas afluentes Elcárrico y Leutza, son valles de denudación abiertos en dirección normal o casi normal a los estratos. Esta disposición de los cauces se refleja en el régimen general de los mismos, y así, mientras la regata de Labayen tiene una pendiente moderada, la de Anizpe y la de Donamaría son verdaderos torrentes.

Señalados los caracteres hidrográficos más salientes del terreno que interesa al objeto de este informe, nos ocuparemos de la constitución íntima del subsuelo, que es el punto más interesante dado el objeto de que se trata.

Datos geológicos.—En realidad nuestro estudio debería limitarse a la zona donde radican los embalses proyectados, pero para mayor facilidad en la exposición de los hechos observados y la mejor comprensión de la tectónica de conjunto, creemos preferible hacer una ligera reseña de la constitución geológica del valle de Santesteban y de las vertientes septentrionales de la Sierra de Ulzama, aunque sin descender a ciertos pormenores que no interesan directamente.

Estratigrafía.—El ferrocarril de Irún a Elizondo atraviesa poco antes de llegar a Santesteban un estrecho desfiladero abierto en los conglomerados y areniscas rojas del Triás inferior, cuyas capas se orientan próximamente de E. NE. a O. SO. con buzamiento de 40 a 50° al S. SE. y forman en la vertiente izquierda del Bidasoa los escarpados montes de Mendaur. Se apoya este terreno en estratificación discordante sobre las formaciones paleozoicas que tanto desarrollo adquieren más al Norte por Sumbilla, Echalar, Lesaca y Vera.

Al pie de las alturas de Mendaur, a orillas del río Escurra, dentro ya, por lo tanto, del valle de Santesteban, se extiende una fajita de triásico superior o Keuper (véase el corte núm. 1, trazado paralelamente al valle de la regata Anizpe, a su izquierda) formada por margas rojas, calizas dolomíticas, carñiolas, yesos y algunos asomos ofíticos, que queda cubierta hacia el Sur por la potente formación de calizas tabulares, margas, arcillas y areniscas deleznales que da origen a las altas lomas del Monte Amezti y sus contiguos entre Gaztelu, Santesteban, Ituren, Zubieta, Labayen, Urroz y Oiz. Los estratos de esta formación, siempre de espesor reducido, con aspecto de lastras o lajas, de color gris-claro en la fractura fresca y gris-amarillento en las superficies expuestas a la acción de los agentes meteóricos, buzan entre 25 y 40° al Sur, según los puntos, pues describen varias ondulaciones dentro de la pendiente general, y se hallan bien de manifiesto en multitud de cortes naturales y artificiales; pero son tan pobres en fósiles, que a pesar de haber registrado minuciosamente muchos de ellos, sólo se han podido encontrar restos de ostreas y de pequeños coralaris imposibles de determinar, ni específica ni genéricamente. Por ello, sin duda, han sido objeto de clasificaciones diversas por los geólogos que han recorrido el país.

Don Lucas Mallada, en su «Reconocimiento geológico de la provincia de Navarra», publicado en 1882, las consideró como liásicas, creyéndolas probablemente prolongación de las que perteneciendo, en efecto, a esta edad, asoman en otros lugares del mismo valle apoyadas sobre las rocas del Triás. Don Pedro Palacios, en su monografía sobre las «Ofitas de la provincia de Navarra», publicada en 1897, las incluye en el Cenomanense; pero hace ya algunos años que este eminente geólogo, tan conocedor del país navarro, encontró en capas análogas de otros puntos de la provincia la *Ostrea larva* y algunos otros fósiles, que le permitieron clasificar de manera indubitable la formación de que se trata entre las correspondientes al período Danés, el más moderno de los cuatro en que se divide el Cretáceo superior.

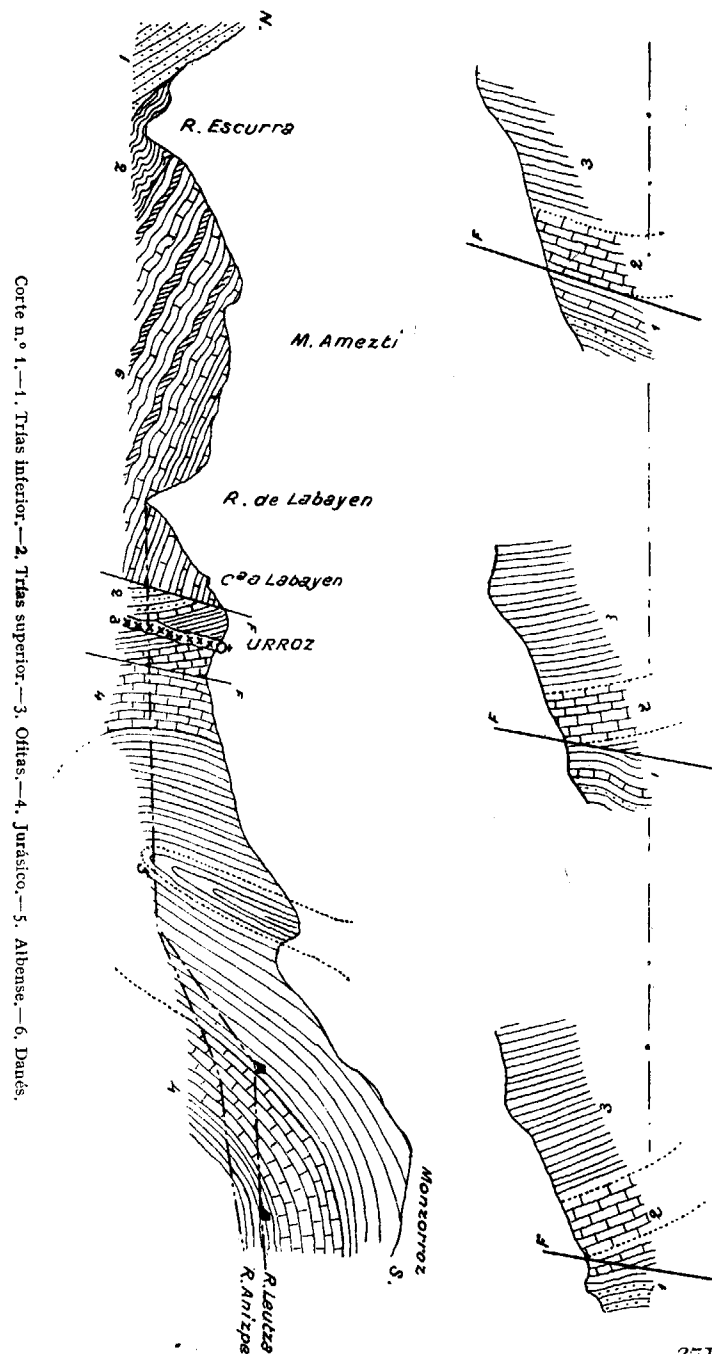
Cuando se recorre la carretera de Santesteban a Urroz, se atraviesa esa fajita de terreno Danés en dirección casi normal a los estratos, que asoman repetidas veces en el trayecto, bien en las rápidas laderas de las colinas, como ocurre frente a la venta de Donamaria, bien en las trincheras del camino entre Santesteban y la mencionada venta, o entre el pueblo de Oiz y el de Urroz.

Si al llegar al puente de Oiz viniendo desde Santesteban, se deja la carretera y se sube el curso de la regata Anizpe por la senda que sigue la margen izquierda, el terreno cambia bien pronto de caracteres, y a las margas y calizas tabulares del Danés sucede un complejo de areniscas, conglomerados, margas rojizas y algún que otro banco de carñiolas que tan pronto buzan al Norte, tan pronto al Sur; pero siempre con fuertes inclinaciones. Corresponde este cambio brusco en el aspecto y composición del suelo a un nuevo asomo del triásico superior, parte de una fajita larga y estrecha que se extiende desde

Gatzelu hasta Labayen, en prolongación de la línea de fractura que marca el curso del Bidasoa, aguas arriba de Santesteban. Esta faja de Trías está jalonada por multitud de apuntamientos de ofita, de los cuales son los más importantes los que asoman en el pueblo de Donamaría y en el de Urroz. (Corte n.º 1).

El mismo cambio se observa al recorrer la carretera que desde este último pueblo conduce a Labayen. Entre el puente de Oiz, y Urroz, sólo asoman en las trincheras del camino las calizas y margas del Danés, pero a poco de pasar el poblado, aparecen gruesos bancos de conglomerados y areniscas, con otros no menos potentes de calizas y dolomías, que se destacan en la falda de la colina de Urroz formando grandes peñones.

La faja triásica que acabamos de indicar apenas tiene 300 metros de anchura en el trayecto comprendido entre la regata Anizpe y Urroz, y si se continúa subiendo el curso de la regata por la senda de la margen izquierda, pronto desaparece bajo grandes bancadas de una caliza marmórea, sacarina, blanca o de colores claros y en ciertos lugares brechoide, cuyos lechos buzan al Sur o al Norte, según el punto de la ladera que se considere. Cerca del cauce de la regata, los estratos buzan al Sur, encontrándose en la posición que normalmente les corresponde por su edad, como veremos seguidamente en la somera descripción que estamos haciendo; otro tanto ocurre en las inmediaciones del pueblo de Urroz, como puede comprobarse en la carretera de Labayen y en la senda que de ella arranca en dirección a las Bordas de la regata Anizpe; pero a mitad de distancia entre uno y otro punto, las capas de la caliza en cuestión, buzan hacia el Norte y aparecen, por lo tanto, cobijadas por las del Trías. Nada de extraño tienen estos cambios



Corte n.º 1.—1. Trías inferior.—2. Trías superior.—3. Ofitas.—4. Jurásico.—5. Albense.—6. Danés.

Cortes n.º 2, 3 y 4.—1. Trías superior.—2. Jurásico.—3. Albense.

de régimen, aun tratándose de sitios tan próximos entre sí, si se tiene en cuenta que la faja triásica marca la posición de una gran línea de fractura, y en las proximidades de estos accidentes tectónicos, las capas, por muy resistentes que sean, rara vez conservan un régimen constante; pero, además, los cambios de buzamiento que en este caso se observan, son debidos a que el pliegue sinclinal que forman las calizas y que se dibuja en el corte núm. 1, se encuentra más cerrado en unos puntos que en otros, según la mayor o menor presión resultante de la rotura. Los cortes números 2, 3 y 4 indican la manera de producirse esas dos posiciones, al parecer tan opuestas, de las capas de caliza.

Si se sube más aún el curso de la regata Anizpe, pronto se cruzan los bancos de caliza, que el camino corta aproximadamente en ángulo recto, y se penetra en un terreno compuesto por margas sabulosas, calizas, areniscas compactas y arcillas de color negruzco, que alternando repetidas veces y con fuerte buzamiento al Norte, es decir, en el sentido de la pendiente del cauce, continúan sin interrupción hasta el punto elegido para emplazamiento de la presa inferior en la regata Leutza. Esta serie de capas, que aparecen al descubierto en todo el trayecto recorrido por la senda, se destaca en fuertes crestones más al Oeste, en las cumbres del Monte Monzorroz y se prolonga sin solución de continuidad a la vertiente opuesta de la regata, orientándose sensiblemente de Este a Oeste.

A poco de pasar el emplazamiento de la presa inferior, vuelven a presentarse las calizas marmóreas blanquecinas, con análogo buzamiento al del conjunto de capas que acabamos de describir, y a través de sus bancos abre su cauce la regata por espacio de unos 300 metros, hasta que al fin asoman bajo las calizas unas pizarras algo lustrosas de color negro verdoso,

que alternan con lechos de calizas arenosas de color ocráceo y algún que otro banco de caliza sacarina: Forma este conjunto de capas, una masa rocosa de escasa consistencia, que las aguas meteóricas y las corrientes superficiales han disgregado con relativa facilidad, y tanto por este motivo, como por el menor tendido que tienen en toda esta parte los estratos (en algunos puntos están casi horizontales), el valle presenta un brusco ensanchamiento, que es precisamente el que se trata de aprovechar para los embalses.

Edad de las capas.—Diremos dos palabras acerca de la edad de estas formaciones que se extienden al Sur de la faja triásica de Urroz.

Las calizas marmóreas, que con las pizarras y los lechos de calizas arenosas asoman en los embalses, y aisladamente sobre las capas triásicas de la faja Gaztelu-Labayen, son los estratos más antiguos, a excepción de los del Trías, que se presentan en estos parajes, y tienen más bien aspecto de rocas primarias que de secundarias. En nuestra visita tuvimos la suerte de recoger en las capas de calizas toscas que forman el cerro donde se ha de apoyar el estribo izquierdo de la presa superior, una porción de equinodermos, no muy bien conservados, pero correspondientes sin duda alguna a géneros jurásicos. Además, un poco aguas abajo del emplazamiento de dicha presa superior, y en la margen izquierda del arroyo, hay un afloramiento de margas triásicas y hasta un pequeño asomo de ofita muy descompuesto.

Contienen dichas calizas y algunos de los bancos de las pizarras inferiores, marcadas señales de metamorfismo, que se manifiesta en las primeras por su textura sacarina y en unas y otras por la multitud de agujas de dipyro que cruzan su masa en todos sentidos. Este mineral es uno de los silicatos de meta-

morfismo propios de las rocas calizo-magnesianas, y se presenta también en las capas del Trías, donde tanto abundan las calizas dolomíticas; cerca de Urroz recogimos, en efecto, una muestra de caliza triásica que contiene profusión de agujas del mismo mineral.

La potentísima formación de areniscas, margas sabulosas, calizas y pizarras negras que vienen encima de las calizas jurásicas, y que por su *facies* también parecen corresponder a una edad más antigua, fueron clasificadas de aptenses por don Pedro Palacios en su monografía sobre las «Ofitas de la provincia de Navarra», pero pertenecen más bien al tramo inmediatamente superior del Infractáceo, es decir, al Albense. Los lechos de margas están llenos de la *Orbitolina conoidea*, foraminífero que pulula en las capas aptenses, pero algunos ejemplares de Ammonites encontrados más tarde en otros lugares de Navarra por el propio Sr. Palacios, entre ellos el *A. Agassizianus*, le han permitido fijar con mayor precisión la edad de dichas capas. Examinando detenidamente un trozo de caliza margosa recogido por nosotros en la cumbre del monte Monzorroz, hemos podido comprobar que contiene no pocos ejemplares de la *Orbitolina* antes citada.

Con lo expuesto queda determinada con suficiente precisión la edad de las formaciones que constituyen el subsuelo de la zona que interesa al objeto de este informe, y que hemos procurado deslindar con la aproximación que nos permiten los datos recogidos sobre el terreno. En resumen, entran en la constitución de esa zona: el Triásico, el Jurásico (probablemente el Jurásico medio), el Aptense y el Danés. Los terrenos cretáceos, Aptenses y Danés, son los que mayores superficies cubren; pero como a continuación se verá, el Jurásico es el único que presenta verdadero interés para nosotros.

Tectónica.—La faja triásica de Donamaría-Urroz-Labayen establece una solución de continuidad entre la cuenca jurócretácea de la Sierra de Ulzama y la cretácea del valle de Santesteban, en la tectónica general del país y en la circulación de las aguas subterráneas. Así, las aguas que se infiltran en el macizo de la sierra, no pueden pasar a las capas del Danés, sino que se ven obligadas a brotar al exterior al tropezar con la faja triásica, que constituye una barrera impermeable, debido a las margas y a las arcillas yesíferas que se intercalan a distintos niveles. Para nuestro objeto, carecen, por tanto, de interés las formaciones que se extienden al Norte de la faja triásica, y si nos hemos referido a ellas en la descripción que antecede, ha sido con objeto de que los datos expuestos puedan servir de guía a quienes traten de continuar nuestras observaciones o de comprobar sobre el terreno lo que aquí decimos.

Volvamos al corte núm. 1, en el que se señalan con líneas de puntos los cauces de las regatas Leutza y Anizpe y, en la primera, la situación de las presas proyectadas. Según se indica en la figura, las calizas jurásicas forman un amplio sinclinal o fondo de barco relleno por las capas del Albense, y apoyado, en cuanto los cortes naturales permiten asegurarlo, en las rocas triásicas; así ocurre al menos por el Norte y el Oeste, como pone de manifiesto el camino antiguo de Urroz a Labayen, trazado todo él por las capas del Trías, en tanto que la explicación de la carretera deja al descubierto las calizas jurásicas.

Nuestras exploraciones no se han extendido a la zona situada al Sur de los embalses, pero en la cumbre de la Sierra de Ulzama y en el puerto de Velate, asoman de nuevo las capas del Trías según el Sr. Palacios, y más al Oeste, en la vertiente

opuesta, hacia Beruete, Arrarás e Igoa afloran juntamente con el Trías las capas jurásicas.

Hidrología subterránea.—La constitución geológica de la región objeto de nuestro estudio es, pues, bien sencilla, no sólo por el reducido número de terrenos que en ella afloran, sino por la falta de líneas tectónicas secundarias que pudieran interrumpir el amplio pliegue sinclinal que todos los estratos describen, y esa sencillez se refleja en el régimen de las corrientes subterráneas. Las capas del Albense, que rellenan la cazuela formada por las calizas jurásicas, sin ser de una permeabilidad excesiva, como lo demuestran los múltiples arroyuelos que las surcan, dan paso a una fracción importante de las aguas llovedizas, que al terminar su carrera descendente se almacenan en las capas de calizas jurásicas, cruzadas, como todas las calizas puras, por litoclasas y cavidades de forma irregular, y una vez llenos esos depósitos subterráneos, brotan al exterior en la intersección de las depresiones del terreno con la red de canales interiores.

Este origen reconocen, tanto el hermoso manantial del Molino de Urroz, que surge en el contacto del Jurásico con el Trías, como los que brotan en las regatas de Leutza y Anizpe, un kilómetro aguas arriba de su confluencia, sin otra diferencia que el primero depende más directamente de las capas calizas que forman la rama norte del sinclinal, y los segundos de las de la rama sur. Respecto a la relación de continuidad que pueda existir entre las redes de fisuras de que dependen estos diversos manantiales y a las zonas permeables que contribuyen a su alimentación, nada es posible asegurar de una manera categórica, y sólo fundándose en su permanencia y en los grandes desniveles que separan sus puntos de emergencia, cabe pronunciarse a favor de una independencia, al menos relativa, de todos

ellos, que, como a continuación veremos, tan necesaria es para el éxito de los proyectados embalses. Pero antes de dilucidar este punto, que es en definitiva el único que interesa a los fines de este informe, creemos necesario dar algunos detalles de la manera como se presentan los estratos jurásicos en los tramos de la regata Leutza que han de ocupar las obras, así como en la parte superior del valle de la Anizpe.

Geología de las zonas de embalse.—Como antes dijimos, una vez pasada la fajita triásica de Urroz y las calizas jurásicas que forman la rama sur del pliegue sinclinal, sólo asoman en las laderas de la regata Anizpe las capas albenses fuertemente inclinadas hacia el Norte y orientadas en línea general de Este a Oeste. Las mismas capas se destacan con idéntico buzamiento en las dos vertientes del barranco de Leutza hasta el lugar donde se halla emplazado el vertedero de aforo. Unos 60 metros aguas arriba de éste, asoman las calizas jurásicas, que cruzan el cauce en potentes crestos con fuerte buzamiento al N. NO. y orientándose al N. 40° E. Sin embargo, la marcha general de las capas que se observa en las dos vertientes del valle no corresponden exactamente a la dirección con que cruzan el lecho, efecto probablemente esta última de una inflexión de carácter local.

Las capas de caliza, visibles en las dos laderas y en el mismo cauce en un trayecto no inferior a 300 metros, si bien a trechos quedan tapadas por grandes masas de derrubios, se doblan paulatinamente a medida que se camina hacia el Sur, y frente a la doble curva que describe la regata aguas abajo del emplazamiento elegido para la presa superior, quedan casi horizontales como lo demuestra el corte natural visible en la margen izquierda por encima de la línea de embalse. Esta posición de los estratos parece corresponder a la clave de un anticlinal,

y como antes se dijo, coincidiendo con esta parte alta del pliegue, se presenta un pequeño asomo de Triás.

Las pizarras, margas y calizas arenosas que asoman debajo de las calizas marmóreas, formando el valle en la parte correspondiente al segundo embalse, aparecen primero muy tendidas, casi horizontales, pero pronto se retuercen en pequeños pliegues, presentando señales muy marcadas de las grandes presiones sufridas, en las superficies alabeadas y lustrosas que separan sus fragmentos.

Correspondiéndose con una de las pequeñas plegaduras que parecen marcar la cumbre del supuesto anticlinal, asoman de nuevo en el fondo del valle, y más visiblemente en la margen izquierda de la regata, algunos bancos de caliza sacarina blanca con los que se relaciona un manantial que brota en las inmediaciones del cauce. Pasados estos pequeños asomos calizos, la regata vuelve a abrir su cauce en las pizarras inferiores hasta llegar a la cola del embalse.

Resulta de esa disposición de las capas en su relación con los emplazamientos de las presas proyectadas, que los dos embalses han de cubrir secciones de la regata donde el valle queda abierto en las calizas jurásicas, y si bien no se trata en este caso de rocas cavernosas, es indudable que las capas están cruzadas por grietas y litoclasas que permiten la fácil circulación del agua en su interior, toda vez que emergen en sus afloramientos manantiales de importancia.

El haz de capas calizas que cruza la regata Leutza en las inmediaciones de la presa inferior, se prolonga hacia el Oeste por la cañada que desde el monte Monzorroz baja hacia Beinza-Labayen, pueblo edificado sobre estas rocas, y por el Este continúa también a través del espolón que separa la regata Leutza de la de Anizpe, cruza el cauce de esta última y se

destaca en grandes crestones en los montes de la vertiente opuesta. En la regata que baja hasta Beinza no brota, que sepamos, ningún manantial de importancia entre los estratos del Jura, pero en la de Anizpe emerge uno bastante caudaloso cuya relación con dichas capas es innegable; y como el punto de emergencia de este manantial se encuentra 70 metros más bajo que el de la regata Leutza, cabe preguntarse, si al represar las aguas en esta regata y en consecuencia, una subida del nivel hidrostático en la masa de caliza, aumentará el desagüe de las capas por la regata Anizpe en términos que puedan comprometer el éxito de la obras. Veamos qué fundamento puede tener tal supuesto y si la prudencia aconseja tomar ciertas precauciones, introducir en el proyecto determinadas reformas, o renunciar a su ejecución.

Independencia de los diversos manantiales que emergen en las calizas jurásicas.—A nuestro juicio, que trataremos de fundamentar a continuación, no debe existir el temor apuntado, pues entendemos que los diversos manantiales que surgen entre las capas jurásicas, o, mejor dicho, que las redes de fisuras y grietas que los alimentan, son independientes entre sí. Es verdad que el único dato que tenemos para presumir esa independencia, es la comprobada permanencia de todos ellos; pero la importancia y transcendencia de este dato no se puede poner en duda, pues si las redes de canales interiores que alimentan a unos y otros comunicasen ampliamente entre sí, las aguas afluirían siempre al desagüe más bajo, no tratándose, como ocurre en este caso, de grandes caudales, y salvo en los períodos de grandes lluvias los que emergen a mayor altura dejarían de correr. Especialmente por lo que se refiere a los manantiales de las regatas Leutza y Anizpe, la existencia del primero sería imposible si hubiera una comunicación más o

menos franca entre los sistemas de grietas que los alimentan, toda vez que la distancia horizontal que los separa es de unos mil metros y el desnivel entre los puntos de emergencia, setenta. Calcúlese con cuán estrecha comunicación bastaría para que los 100 litros escasos que el primero produce en estiaje fueran a reunirse con las aguas del segundo.

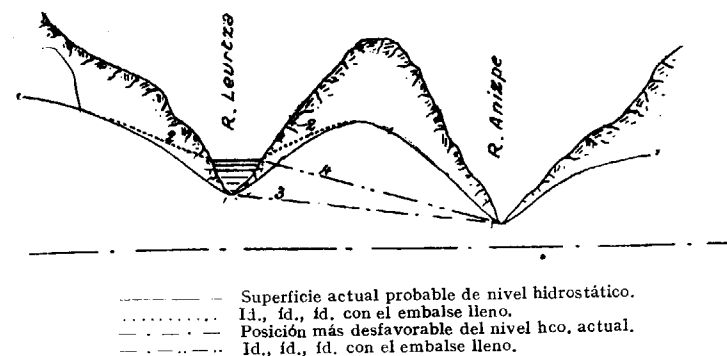
Este es, a nuestro juicio, un argumento de gran solidez en apoyo de la independencia de los dos citados manantiales, y acaso pudiera radicar la causa fundamental del hecho, en la falta de uniformidad que se nota en la composición de los depósitos jurásicos de aquella zona. En efecto; si las capas de calizas marmóreas que asoman en la Regata Leutza cerca de la presa inferior se prolongan hacia el Este con la dirección que allí tienen, se ve que esa línea ideal no corresponde a los afloramientos de los bancos calizos en la regata Anizpe, sino que éstos se encuentran bastante más al Sur, siendo así que debía ocurrir lo contrario por buzar las capas al Norte y ser esta regata más profunda que la Leutza. Por otra parte, el espesor del manto calizo parece reducirse bastante entre las dos regatas en cuestión, ensanchándose después de manera considerable al alcanzar la margen derecha de la Anizpe, donde forman gran parte de las estribaciones de la sierra.

La misma falta de homogeneidad se nota al comparar las ramas norte y sur del sinclinal jurásico: en la rama norte, hacia Urroz y Oiz, descansan las calizas del Jura sobre las rocas triásicas, en tanto que en la zona de los embalses se desarrolla debajo de las calizas un importante tramo de margas y pizarras en el que las calizas se presentan sólo como capas subordinadas.

Otro hecho que viene en apoyo de la independencia de los manantiales que venimos considerando es que el que emerge

en la regata Lentza brota en el borde izquierdo del cauce, como derivación de los afloramientos calizos y las grandes masas de rocas albenses del Monte Monzorroz, mientras que el de la regata Anizpe brota en la margen derecha, como correspondiendo a las grandes bancadas de calizas jurásicas que tanto desarrollo adquieren en la vertiente de Levante.

Todos los signos exteriores al alcance de nuestras observaciones están, por lo tanto, a favor de la mencionada independencia, y lo que decimos respecto a los manantiales de las regatas Leutza y Anizpe, debe entenderse aplicado y con mayor



motivo al manantial del Molino de Urroz en sus posibles relaciones con estos dos, de modo que no parece probable que el embalse inferior, que es el que ha de cubrir la faja caliza, corra peligro de descargarse por cualquiera de los desagües inferiores existentes. La presa tendrá 16 metros de altura, y aún suponiendo el embalse lleno, sería difícil que la superficie líquida llegara a ser tangente a los vértices de las superficies de nivel hidrostático en las divisorias de la regata, que afectarán probablemente la forma que indica el adjunto esquema.

La presencia del embalse modificará esa superficie en la

manera que indica la línea de puntos, disminuyendo indudablemente el rendimiento del manantial inmediato a la presa, pero como el mismo esquema pone de manifiesto, en el caso más desfavorable, en el supuesto de que la superficie de nivel hidrostático en el espolón que separa las dos regatas fuera un plano inclinado, la pendiente con que funcionarían los conductos subterráneos con el embalse lleno, no llegaría a ser superior a la actual en un dos por ciento; de modo que aun cuando el manantial de Anizpe procediera íntegro de la vertiente izquierda de la regata y de las alturas del Monte Monzorroz, el aumento de caudal por razón del embalse no sería de consideración.

En cuanto al embalse superior, la naturaleza del terreno es más favorable aún a su permanencia por la poca importancia que en esta parte del valle tienen las capas de caliza, que, por otra parte, no parecen aflorar a más bajo nivel en otras regatas próximas.

Emplazamiento de las presas.—Réstanos formular algunas observaciones referentes a la situación definitiva de las presas, que nos sugieren los reconocimientos practicados sobre el terreno.

La presa inferior debe cimentarse en los bancos de pizarras y areniscas margosas del Albense, inmediatas al vertedero de aforo; sería peligroso hacer retroceder la presa hacia las calizas jurásicas, sobre todo si se ha de construir de tierra, porque al quedar represado el manantial ha de buscar salida a más alto nivel, y si llegara a brotar algún filete líquido en la parte de la ladera donde venga a insistir el prisma de tierra podría ser arrastrada la obra. Por otra parte no parece que haya gran ventaja en establecer la presa muy aguas arriba del vertedero de aforo, porque el estrechamiento que el valle presenta cerca

de los bancos de caliza es más aparente que real dada la gran masa de derrubios acumulados en la ladera.

En cuanto a la presa superior, estimamos que ha de ser fácil encontrar firme en las dos vertientes, y como las rocas que allí forman el subsuelo son las pizarras y las calizas arenosas, conjunto de gran solidez y suficiente impermeabilidad, bastará abrir una pequeña caja en su masa para obtener una excelente estribación.

Conclusiones.—Del estudio que antecede creemos poder deducir lógicamente las siguientes conclusiones:

1.^a—La regata Anizpe, aguas arriba de Oiz, atraviesa, en dirección casi normal a los estratos, un sinclinal de calizas jurásicas relleno por margas, areniscas y calizas negras del Albense (Cretáceo inferior).

2.^a—La rama sur de ese sinclinal cruza la regata Leutza dentro de la zona que ha de cubrir uno de los embalses proyectados, así como la Anizpe, y en la intersección de los respectivos cauces con los bancos de caliza, afloran manantiales de régimen permanente, de los cuales el correspondiente a la regata Anizpe brota a más bajo nivel (70 metros) que el que emerge en la de Lentza.

3.^a—Este hecho comprobado autoriza a tomar en consideración la posibilidad de que los embalses proyectados, especialmente el inferior, pudieran descargarse por la red de grietas y fisuras que cruzando la masa de calizas alimenta a dichos manantiales; pero las circunstancias que en éstos concurren, sus condiciones de caudal, modo de emergencia, etc., inducen a negar, ya que no la posibilidad, la probabilidad de que tal contingencia pueda tener lugar, y en consecuencia estimamos que, a pesar de que la presencia de calizas fisuradas en los vasos de los pantanos constituye en general una circunstancia

desfavorable, en el caso presente el régimen de las aguas subterráneas permite desechar los temores que pudieran presentarse en orden a la no permanencia de los proyectados embalses.

Madrid, junio, 1919.

Nota.—Las presas a que se refiere este informe fueron construídas en 1920 y desde esta fecha están en servicio, sin que se haya notado pérdidas por infiltraciones en ninguno de los dos embalses.

PANTANO DE LERATE
INFORME
ACERCA DE LAS CONDICIONES
DE IMPERMEABILIDAD DEL VASO
POR
JUAN GAVALA
INGENIERO DE MINAS

PANTANO DE LERATE
INFORME ACERCA DE LAS CONDICIONES
DE IMPERMEABILIDAD DEL VASO

El proyectado pantano que se designa con ese nombre, porque ha de ocupar terrenos pertenecientes en su mayoría al término municipal de Lerate (Navarra), tiene por objeto regularizar el régimen del río Salado, afluente del Arga, y conseguir un caudal permanente de 3 metros cúbicos por segundo. Este caudal se piensa destinar a la producción de energía eléctrica y al riego de grandes extensiones de terreno, lo que será factible una vez el pantano construido, porque con la retención de las aguas de crecida, que contienen pocas sustancias en disolución, mejorará notablemente la composición media de la del río, demasiado salobre ahora para su utilización en regadíos.

Para conseguir la regularización del caudal hasta el límite señalado, precisa un embalse de 50.000.000 de metros cúbicos, y a fin de disponer de un vaso de esa capacidad, se ha proyectado cerrar con una presa de 62 metros de altura la estrecha garganta abierta por el río en una barrera de calizas orientada normalmente a la dirección del cauce y situada como a un kilómetro al Norte de la Granja de Alloz. En el punto donde el Salado corta la barrera caliza se destacan escarpados crestones de esta roca entre los estratos blandos que forman el terreno

inmediato, dando origen a los riscos llamados Peñas de Tarra-bia.

Cerca del emplazamiento de la presa, en la margen derecha del río, que es donde desembocará la galería de toma de agua, perforada ya en gran parte, se proyecta instalar un grupo hidro eléctrico para aprovechar el desnivel variable del embalse, que oscilará entre las cotas 59,50 m. del aliviadero de superficie, y 30,50 m. del origen de dicha galería.

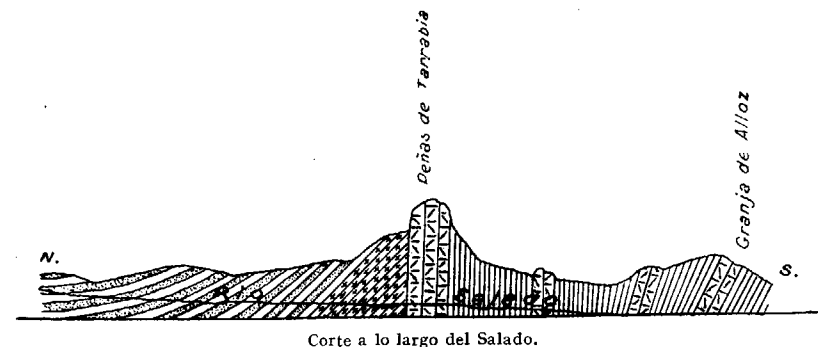
El canal de desagüe de esta primera central eléctrica se desarrollará por la margen derecha del Salado en un trayecto de 15 kilómetros hasta Mendigorria, ganándose allí al llegar a este punto, que es donde confluyen el Salado y el Arga, un desnivel de 65 metros que para el caudal medio de 3 metros cúbicos por segundo representa una fuerza disponible de próximamente 2.000 HP.

El río Salado nace en las vertientes meridionales de los grandes macizos montañosos de Andía y Urbasa, pero sus fuentes permanentes son escasas y de poco caudal, por lo que el gasto baja en este estiaje a 200 litros por segundo, haciéndose im potable el agua que corre por el valle superior del río al mezclarse con la de manantiales salinos que recoge en diversos puntos del trayecto, principalmente en el término de Salinas de Oro. Durante el invierno, en cambio, su caudal medio es importante, y en las crecidas se eleva el gasto hasta 40 metros cúbicos por segundo, cifra moderada con relación a la cuenca de recepción del pantano, pues midiendo ésta 120 kilómetros cuadrados, el caudal de avenidas sólo llega a 3,33 litros por segundo y hectárea.

Durante el año de 1917, el caudal medio anual del Salado fué de 5.500 litros por segundo, y en 1918, hasta 31 de mayo, han pasado por el emplazamiento de la presa, 87.000.000 de

metros cúbicos. Se ve, pues, que el río conduce un caudal medio suficiente para el embalse proyectado.

Las aguas embalsadas cubrirán el valle del río en más de 5 kilómetros de longitud. Entre la cola del embalse y la presa describe el río un zigzag, pero la orientación general del valle es de N. a S., normal a la dirección de las capas de la formación miocena lacustre, que forma el subsuelo en el trayecto indicado. El Mioceno descansa a lo largo del borde Sur de la mancha sobre las calizas numulíticas de las Peñas de Ta-



Corte a lo largo del Salado.

rrabia, y éstas, a su vez, sobre las arcillas, margas y calizas del Cretáceo superior.

Corte geológico a lo largo del Salado.—La sucesión de estratos que se observa a lo largo del cauce del río, en las laderas del valle y en las alturas próximas, es la que se dibuja en el adjunto corte, que puede considerarse como representativo de la estructura geológica de la zona que interesa para el objeto de este informe.

Subiendo el cauce del río a partir de la Granja de Alloz se encuentra primeramente el terreno Cenamonense, que consta de gruesos bancos de calizas gris-amarillentas con Orbitolinas, encajados entre haces de capas margo-arcillosas de color verdoso-oscuro. El buzamiento de los estratos va aumentando

a medida que se avanza hacia el Norte, siendo de 40° en la Granja de Alloz, de 70° hacia la curva que describe el río inmediatamente después de atravesar las Peñas de Tarrabia y de 80° a lo largo del contacto con las calizas numulíticas.

Las capas que se encuentran inmediatamente debajo de las calizas en las Peñas de Tarrabia son margas calíferas tabulares, de color gris-claro, que se apoyan sobre otra serie de estratos más arcillosos de color verde-oscuro. El espesor de las dos series de margas pasa de 100 metros, y el primer banco de calizas con Orbitolinas que se intercala en la formación cretácea, asoma en la margen derecha de un regajo que se vierte en el Salado en el vértice de la curva a que antes nos referimos.

Sobre las margas cretáceas descansan las calizas marmóreas del Eoceno, verticales o con fuerte buzamiento septentrional. Las capas suman por término medio 50 metros de espesor y la estratificación sólo se distingue en los bancos superiores e inferiores; en el centro tiene la roca textura maciza, como es frecuente en esta clase de formaciones. Predominan en las Peñas de Tarrabia las lumaquelas numulíticas de color gris-claro ligeramente parduzco, y mármoles con restos espatizados de Crinoides y Equinidos.

En las paredes de la estrecha cortadura por donde el río atraviesa esa masa de calizas se ven restos de marmitas colosales, de 8 y 10 metros de profundidad por 3 y 4 de diámetro, señal manifiesta de que esa brecha gigantesca se debe al trabajo de denudación de la corriente y no a un accidente tectónico.

Al Norte de la barrera caliza, el terreno cambia radicalmente de aspecto y las primeras capas que aparecen son yesos sedimentarios estratificados con mucha regularidad, pero en discordancia con los asientos numulíticos. Esta disposición de

los estratos acusa la existencia de un movimiento orogénico, que levantó las calizas con anterioridad al depósito de los yesos; las capas de esta roca buzán, en efecto, unos 50° al Norte, mientras que las calizas numulíticas buzán cerca de 90°. Encima de los yesos viene una serie muy potente de areniscas, margas, molasas y arcillas en la que todas estas rocas alternan cientos de veces.

Esa formación lacustre que tiene aquí por base las capas de yeso ha sido clasificada como perteneciente al terreno mioceno por el insigne geólogo D. Pedro Palacios, muy conocedor de la geología de Navarra y autor de un mapa geológico detallado de esta provincia.

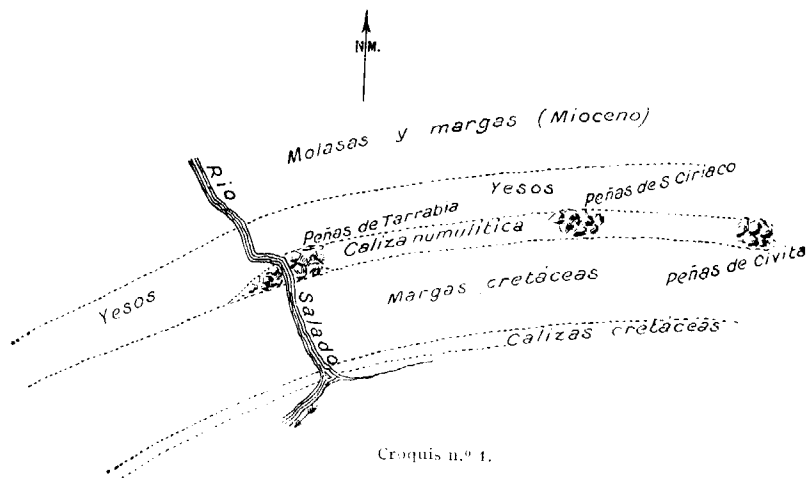
El buzamiento de los estratos miocenos va disminuyendo paulatinamente a medida que se avanza hacia el Norte, siguiendo el curso del Salado, y llegan a ponerse horizontales cerca de la carretera de Puente la Reina a Lezaun. Más al Norte todavía cambia el sentido del buzamiento, y en el cruce de la carretera anterior con la de Pamplona a Estella, vuelven a asomar los yesos de la base del mioceno y el terreno numulítico infrayacente, unos y otros con buzamiento al SE, lo que demuestra la existencia de un fondo de barco o pliegue sinclinal de la formación miocena en la zona correspondiente al vaso del pantano.

La serie potente de areniscas, margas, molasas y arcillas que cruza el río entre la cola del proyectado embalse y el emplazamiento de la presa, constituye un conjunto totalmente impermeable, y como no cabe admitir siquiera la posibilidad de que se originen fugas a través de un terreno de esta índole, es inútil insistir acerca de sus características.

Respecto a la faja yesosa de la base del mioceno, que asoma en las inmediaciones de la presa, no pueden hacerse afirmacio-

nes tan categóricas, y en consecuencia, la estructura geológica del cierre y la composición de las rocas que lo forman, debe ser objeto de un estudio detenido cuyas deducciones nos sirvan de base para apreciar en su justo valor las hipótesis que en pro o en contra de su impermeabilidad puedan formularse.

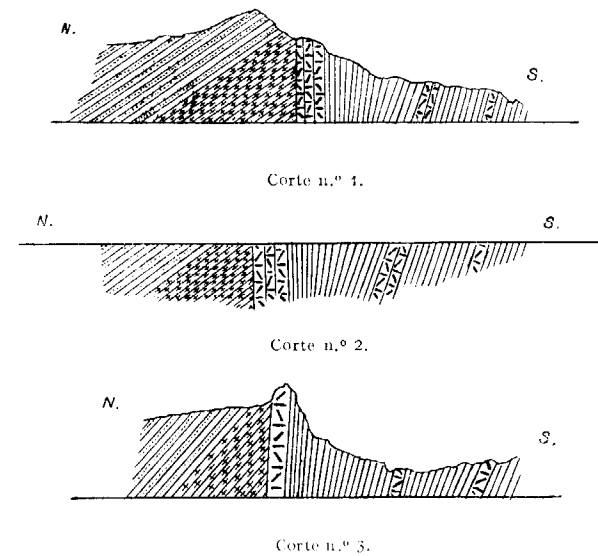
Empecemos ese estudio por la barrera de calizas donde se ha cimentado la presa. Es una faja como de 50 metros de espesor, integrada por capas verticales o con fuerte buzamiento



septentrional, que tiene una corrida de dos kilómetros por lo menos. En todo este trayecto se señala marcadamente en la superficie, pero se destaca sobre todo en tres puntos por sobresalir los crestones formando riscos escarpados: en la Peñas de Civita, en las de San Ciriaco y en las de Tarrabia. En proyección horizontal describe la faja numulítica un amplio arco de círculo con la convexidad vuelta hacia el Norte, y en la misma garganta del Salado sufre una inflexión, desviándose las capas unos 10° del rumbo que traían, al llegar a la margen izquierda del río.

El croquis n.º 1 da idea de esa disposición de las capas,

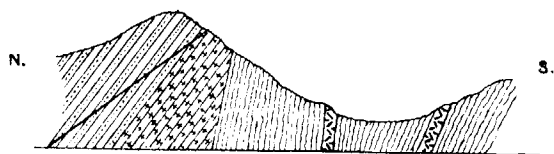
y según se indica también en él, la muralla caliza se acuña en las mismas Peñas de Tarrabia, a unos 100 metros al O. del cauce del Salado, así como las capas de margas calizas blanquecinas que vienen inmediatamente debajo, quedando de este modo yuxtapuestas los yesos miocenos y las margas grises del Cretáceo. Como a cosa de un kilómetro más a Poniente, vuelven a intercalarse entre estos dos terrenos lentejones de



calizas numulíticas, pero de poco espesor y sólo por corto trayecto.

De acuerdo con esas variaciones de régimen de la formación numulítica, un corte normal a la dirección de las capas y, por lo tanto, sensiblemente paralelo al río, trazado a Levante de éste, revelaría la sucesión de estratos que se indica en el corte número 1; en el cauce del Salado, el orden de las capas es el figurado en el corte núm. 2, análogo al anterior. Si trazamos otro a unos 100 metros más al O., las capas aparecen en la forma que pone de manifiesto el corte núm. 3, donde ya se acusa un

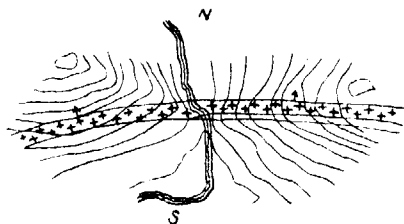
estrechamiento considerable de la faja de calizas; y si todavía trazamos otro más a Poniente, habremos de suprimir las calizas



Corte n.º 4.

y dibujar los yesos descansando sobre las margas cretáceas (corte núm. 4).

Esta serie de cortes muestra con claridad la constitución geológica del terreno en las cercanías de la presa, y para hacerse cargo de la verdadera estructura del cierre, basta rela-

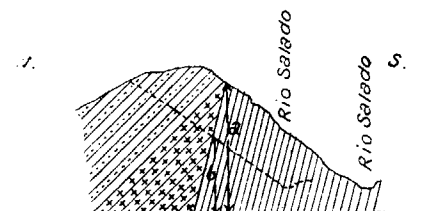


Croquis n.º 2.

cionarla con la configuración topográfica del terreno. A este fin nos valdremos del croquis n.º 2.

El Salado se abre paso en las proximidades de las Peñas de Tarrabia, entre dos cerros de bastante elevación sobre el valle, formados por los cuatro haces de capas que venimos citando constantemente, molasas, yesos, calizas numulíticas y margas cretáceas, pero en las que los estratos se orientan con distinto rumbo que la línea que une las cumbres, de modo que la línea de contacto entre los yesos y las calizas numulíticas, o entre los yesos y el Cretáceo que pasa cerca de la cumbre en el cerro de la derecha, en el de la izquierda pasa a media ladera

y a un nivel bastante bajo con relación a la altura total del monte. Por efecto de esta falta de simetría en la constitución geológica de los dos cerros, la faja de yesos queda al Norte de la divisoria que constituye la línea topográfica de cierre, y por consiguiente dentro del vaso, en todo el trayecto donde las calizas numulíticas existen y fuera de él, donde éstas faltan, es decir al Oeste del río. Dicha falta de simetría es ajena a la tectónica y se debe al trabajo de denudación del Salado, que después de atravesar la barrera de calizas numulíticas, desvió su curso hacia Poniente, a causa, sin duda, de la resistencia que en un principio opuso al paso de la corriente uno de los



Corte n.º 5.

crestones de la caliza cenomanense, y fué socavando la base de la colina de la izquierda, haciendo retroceder el talud del terreno. Como consecuencia de este trabajo de denudación, el contacto de los yesos con las margas cretáceas que en un momento debió encontrarse a la altura a sobre el cauce, al cabo de cierto tiempo, cuando el talud retrocedió hasta la línea de puntos que se señala en el corte núm. 5, hubo de quedar a la altura b , siendo la diferencia de nivel entre esos dos puntos función, tanto del retroceso del talud, como de la inclinación de las capas cretáceas.

Para la cuestión que tratamos de dilucidar se puede hacer caso omiso de la barrera de calizas numulíticas, y analizar las condiciones del cierre como si los yesos se apoyaran directa-

mente sobre las margas cretáceas. La intercalación de dicha caliza es un accidente favorable desde el punto de vista de la construcción de la presa, porque asegura un excelente estribamiento a la obra y reduce enormemente su anchura: de no existir, tampoco existiría la angostura, al menos con las exiguas proporciones que tiene. Pero en cuanto a la impermeabilidad del cierre, la presencia de la caliza numulítica no supone ninguna ventaja, por su falta de continuidad y porque el macizo *indiscutiblemente* impermeable es el formado por las margas cretáceas infrayacentes. Las capas internantes y las que merecen fijar nuestra atención son, pues, las de la formación miocena. Veamos cómo pueden influir por su naturaleza y por su posición en que el cierre sea o no hermético.

Si admitiéramos que dichas capas fueran permeables, resultaría, de acuerdo con lo que llevamos expuesto, que si bien desde la presa hacia Levante la salida del agua del vaso sería imposible por elevarse cada vez más por esa parte del borde del macizo impermeable, que ya en las mismas Peñas de Tarrabia está a mayor altura que la línea de embalse (véase el croquis anterior y los planos), desde la presa hacia Poniente el agua represada podría escaparse del vaso por filtración en cuanto su nivel rebasara la cota 60, porque el contacto de las margas con los yesos fuera del vaso baja en algunos puntos de la ladera a esa cota.

Ahora bien: ¿Pueden y deben considerarse permeables las capas en cuestión? A nuestro juicio, no. Dichas capas se agrupan como es sabido en dos haces o fajas: una inferior de yesos, de 60 ó 70 metros de espesor, y otra superior de molasas, margas y arcillas cuya potencia se mide por centenares de metros. Esta última, que forma el vaso propiamente dicho del pantano, es tan impermeable en su conjunto como la de margas

cretáceas, y la primera, la de los yesos, debe considerarse también impermeable por la textura física de la roca y por la agrupación de los estratos, pues las capas sucesivas están separadas por lechos arcillosos que cierran herméticamente los espacios intermedios.

Claro es que tratándose de un pantano de la importancia del proyectado en Lerate, donde la altura de embalse es de consideración, cualquier defecto en el cierre tendría consecuencias transcendentales, y más si las fugas se originaban al través de las capas yesosas, porque una vez establecida la corriente de agua por pequeña que esta fuera, los conductos de circulación se agrandarían con rapidez. El yeso es algo soluble y cuando tiene interpuestos en su masa granillos de arena y partículas arcillosas, como ocurre en nuestro caso, es fácilmente disgregable.

Pero para que el ataque pueda producirse es preciso que la corriente de agua se establezca, y para que esto ocurra han de existir de antemano grietas o resquebrajaduras, porque la acción capilar, por fuerte que sea la presión que gravite sobre la superficie de la roca, no podrá ser nunca la causa originaria de la circulación del agua.

Como se ve, la cuestión de la impermeabilidad del cierre de este pantano queda reducida a determinar si existen o no grietas en la masa de los estratos yesosos, y aun cuando no es posible formular una opinión categórica en un sentido o en otro, nos inclinamos a creer que no existen, después del detenido reconocimiento que hemos hecho del terreno. Por ninguna parte se advierten cavidades, ni líneas de fractura, ni despego entre las capas consecutivas, siendo la estratificación muy regular y hallándose toda la faja muy comprimida entre las calizas numulíticas o las margas cretáceas y las molasas mio-

cenas, como consecuencia del movimiento orogénico que produjo el levantamiento definitivo de estas formaciones.

El Ingeniero de Caminos D. Emilio Azarola, en la brillante Memoria que acompaña al primitivo proyecto de este pantano, supone, y a nuestro entender muy justificadamente, que a través de la masa de yesos no deben existir grietas capaces de provocar el día de mañana corrientes de agua que puedan comprometer el éxito de la obra, y funda su aserto en el hecho de que el río Salado no se haya abierto paso a través de los yesos, sino a través de la barrera caliza, que ha debido oponer al trabajo de las aguas una resistencia incomparablemente mayor. Pero, lo que a su juicio hace desechar todo temor de un fracaso, es la hipótesis de la existencia, más que probable, según él, de un antiguo pantano en el mismo emplazamiento del que ahora se proyecta construir, de donde deduce que no cabe esperar pérdidas de agua a través de una masa rocosa que ha estado expuesta ya a la prueba de resistencia a que se someterá el día, en que, por decirlo así, se reconstruya aquella obra de la naturaleza.

Este sería realmente un argumento decisivo en favor de la impermeabilidad del cierre si la hipótesis del Sr. Azarola pudiera ser admitida íntegramente, pero a nuestro juicio suposiciones de esta índole no pueden aplicarse sino a contadísimos casos y no encajan en el del río Salado, donde todo parece demostrar que las aguas han ido excavando el cauce a medida que se iba demoliendo la barrera caliza. Pero de todos modos es muy significativo que las aguas que más de una vez se habrán remansado en las Peñas de Tarrabia por obstrucción más o menos momentánea de la cortadura, en el inmenso lapso de tiempo que el río ha debido necesitar para su perforación, no hayan logrado filtrarse por los yesos

y abrirse así un paso, que aunque subterráneo primero, se hubiera convertido en superficial y definitivo con la acción del tiempo. Sin aceptar, pues, el razonamiento íntegro de tan ilustrado ingeniero, creemos que tiene un valor indiscutible cuanto expone a este propósito en su interesante informe.

Volviendo al terreno de los hechos, no parece que haya que temer filtraciones a través de los yesos en las inmediaciones del cauce del río, porque la masa de acarreo acumulada sobre ellos alcanza en ese punto mucho espesor y los limos arcillosos forman un potente manto impermeable: en consecuencia el caso más desfavorable, que sería el de tener lugar las fugas por el fondo del río, no es de temer. Eliminada esta contingencia, no parece que habría de ser difícil corregir cualquier defecto de impermeabilidad que se notase al cargar el pantano, pues como la ladera donde asoman los yesos es fácilmente accesible, siempre cabría taponar cualquier grieta o cavidad que en ella se descubriese, alejando así el peligro de que el mal siguiese en aumento.

Como antes dijimos, el contacto de los yesos con las margas cretáceas se encuentra, fuera del vaso, a alturas que varían entre 30 y 50 metros sobre el río: hasta que el embalse llegara a la cota 60 (véanse los planos), nada habría que temer, por lo tanto. Después, cuando el vaso continuara llenándose y aumentando la carga, sería llegado el caso de vigilar cuidadosamente la operación, por si se notaba algún rezumamiento o filtración, bajar inmediatamente el nivel del agua y reconocer el afloramiento de la faja en el interior del vaso.

La operación de cortar una vía de agua no habría de presentar en este caso dificultades insuperables, porque la masa de yesos es muy compacta y las grietas, si existen, deben ser pocas y pequeñas. Si durante la carga del pantano y en los primeros meses después de lleno el embalse no se notara nin-

guna filtración, nada habría que temer para lo sucesivo, pues los yesos, que no son porosos, acabarían por cubrirse con un enlucido totalmente impermeable, tan pronto como el embalse se llenara unas cuantas veces, merced a los légamos que arrastran las aguas en las crecidas.

En resumen, nuestra opinión respecto a la constitución íntima del cierre del pantano y a sus condiciones de impermeabilidad pueden concretarse así:

1.º—Los terrenos que forman el vaso propiamente dicho son totalmente impermeables.

2.º—La faja de yesos que se apoya sobre las calizas de las Peñas de Tarrabia en las inmediaciones de la presa y en las margas cretáceas más al Oeste, cruza el cierre, y ya fuera del vaso, el contacto del borde inferior de la faja con las margas cretáceas se encuentra en ciertos puntos 30 metros por debajo del nivel del embalse proyectado.

3.º—A pesar de esa estructura geológica del cierre, sin duda desfavorable, éste ha de considerarse como satisfactorio, porque la masa de estratos yesosos es lo suficientemente compacta para que no sea de temer el escape a través de ellas de las aguas embalsadas, y su compacidad se debe en gran parte a lo muy comprimidas que están las capas por efecto del empuje orogénico que produjo el levantamiento definitivo de las calizas numulíticas.

4.º—Es también un dato favorable a la impermeabilidad del vaso, el que las capas de yeso bucen en dirección contraria a la pendiente de la ladera, y, por lo tanto, hacia el interior de aquél.

5.º—El escape del agua sólo sería posible en el caso de existir alguna grieta o resquebrajadura en la masa de los yesos que al dar paso a los filetes líquidos se fuese ensanchando pos-

teriormente, más que por disolución por disgregación de la roca.

No es fácil que esas grietas existan en la parte correspondiente al lecho del río, donde los yesos están, además, cubiertos por una capa potente de acarreos.

6.º—En caso de observarse alguna filtración al llenar el embalse no habría de ser difícil, a nuestro juicio, averiguar su origen y remediar el mal, de modo que, en definitiva, estimamos que la presencia de la faja de yesos en el cierre del pantano de Lerate, si bien es una circunstancia que ha de tenerse muy en cuenta y que obliga a proceder con determinadas precauciones, sobre todo mientras dure la carga del embalse, no es de tal entidad que haga presumir un fracaso del proyecto.

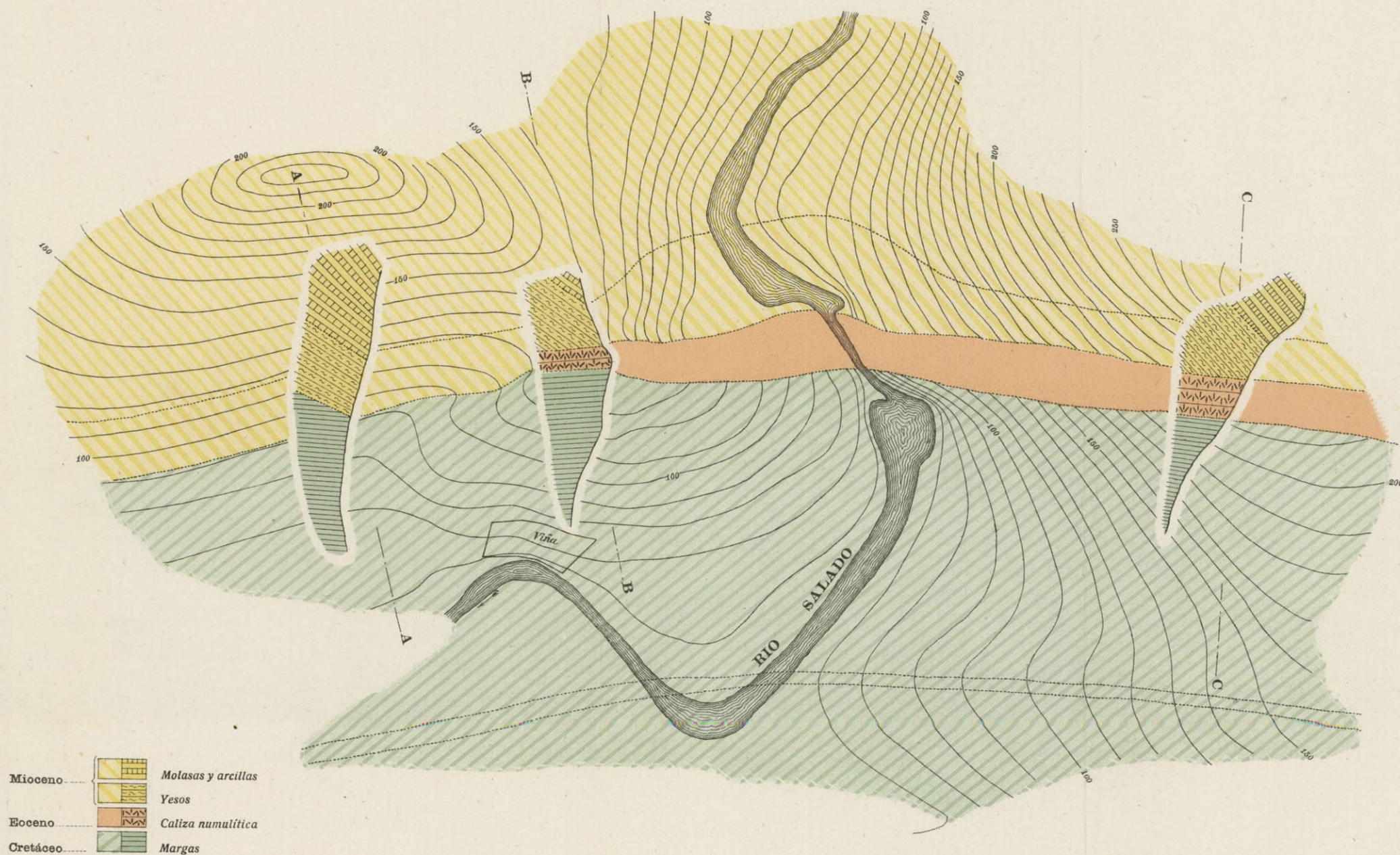
Madrid, 12 julio 1918.



PANTANO DE LERATE EN PROYECTO

PLANO Y CORTES GEOLÓGICOS DE LAS INMEDIACIONES DE LA PRESA

Por Juan Gavala
Ingeniero de Minas



Escala 1:4.000

NOTA
ACERCA DEL APROVECHAMIENTO
DE AGUAS TORRENCIALES
EN LAS ISLAS CANARIAS
POR
A. MARIN Y J. MENDIZABAL
INGENIEROS DE MINAS

NOTA ACERCA DEL APROVECHAMIENTO
DE AGUAS TORRENCIALES
EN LAS ISLAS CANARIAS

De todos los problemas que preocupan en las islas Canarias ninguno está tan relacionado con su prosperidad y engrandecimiento como el del agua. Todos los esfuerzos de los insulares tienden a mejorar las condiciones del cultivo de sus tierras con nuevos aprovechamientos de tan precioso elemento. Los medios que en general se han valido para obtenerlo ha sido la formación de depósitos para embalsar el agua que proporcionan los manantiales y luego distribuirla en las épocas de sequía y el alumbramiento de aguas subterráneas por medio de galerías; pero se ha descuidado mucho el aprovechamiento de las aguas que procedentes de las lluvias circulan por la superficie y se van a perder al mar. Y es preciso considerar que como en general estas aguas tienen carácter torrencial, arrastran consigo limos y tierras laborables, lo que trae consigo otra pérdida de importancia en la riqueza de aquellas hermosas islas.

Es muy conveniente, por tanto, que personas imbuídas de espíritu industrial realicen obras de repoblación forestal y corrección de barrancos y se dediquen a utilizar las aguas colocando en el curso de éstos diques o presas que almacenen las aguas vertidas en las épocas de lluvia para utilizarlas en

las de sequía. Esta necesidad se hace sentir aún más al examinar los días de lluvia apreciable por año en aquellas islas.

Fijándonos en Las Palmas, tendremos que en esta población en los años 1910, 1911, 1913, 1915, 1916 y 1917, que es adonde alcanzan los datos que hemos podido obtener, los días de lluvia han sido, respectivamente: 7, 37, 42, 43, 29 y 35. Mas el hecho que es preciso tener muy en cuenta es que en ninguno de esos años ha llovido en los meses de abril a agosto, ambos inclusive, lo que representa para la agricultura una sequía fija y constante que es preciso combatir por todos los medios posibles.

Por consiguiente, los esfuerzos de las personas que pongan todo su talento y toda su actividad en trabajos de esta índole, merecen la gratitud de sus paisanos y del país en general.

Para poder resolver con éxito el problema de la ubicación de presas que embalsen el agua que pueda circular por los barrancos en épocas de lluvias para distribuir las y aprovecharlas en los de sequía, es necesario estudiar bien la geología del terreno y examinar con detenimiento si los vasos que han de contener el agua son o no impermeables.

Para hacer un reconocimiento de esta índole, nos trasladamos al lugar donde se va a instalar una presa, un poco aguas abajo de la confluencia de los barrancos Merdejo y Corralites y por bajo del monte nombrado Lomo de la Piedra Cabellera, y con objeto de embalsar el agua que circula por esos barrancos en días de lluvia.

Desde luego el temor a la permeabilidad de las rocas que forman el terreno de la isla Gran Canaria está justificado, porque casi en su totalidad son eruptivas y no son éstas las más a propósito para formar vasos impermeables, porque sabido es que suelen estar llenas de grietas y líneas de fractura

por donde las aguas pueden sumirse. Sin embargo, rocas hay de esta clase que libres están de esos peligros y por eso conviene hacer con detenimiento el estudio particular en cada caso.

Con objeto de reconocer bien las rocas que forman el vaso de la presa de Lomo de la Piedra Cabellera, se ha hecho un pozo que tiene 30 metros de hondura y luego se ha hecho una galería.

En el pozo, después de cortar el lecho del río, se cortó en la boca una veta dura de roca eruptiva, luego tova volcánica en 10 m., después 8 m. de roca fuerte, y, por último, y en ella, se dejó el pozo, se cortó tova volcánica.

A continuación damos el resultado del examen macro y microscópico de las diferentes rocas halladas en el pozo.

Veta próxima a la boca del pozo.—Tiene color gris con manchas ocráceas y arcillosas que la hacen perder tenacidad. Se aprecian a simple vista algunos fenocristales.

Examinada al microscopio (fig. 1.^a), presenta una pasta microcristalina esencialmente feldespática, formada por una masa fluidal de microlitos de labrador y un poco de magnetita. Los microcristales envuelven a los cristales grandes formando a modo de regueros.

En la pasta se destacan perfectamente los fenocristales. Entre éstos los hay abundantes de feldespato plagioclasa, de la variedad labrador ácido (7), próximo a la andesina, presentando la macla de la albita y con extinción zonar. Se presenta este mineral en cristales muy sanos y bien determinados, con inclusiones de magnetita, magmáticas y de algún elemento coloreado.

Como elementos ferromagnéticos se presentan el piroxeno (20) y el anfíbol (21). Los cristales del primero son de

augita de color verde-claro, un poco policrónica, muy sana y maclada según el ortopinacoide h^1 . La hornablenda se presenta en cristales de color amarillo-pardo en secciones alargadas con los bordes corroídos y metamorfizados. Muy policrónica.

También se presenta en esta roca un mineral en cristales cúbicos y que por sus inclusiones abundantes que parecen proseguir en el magma debe ser hauyna. Uno de estos cristales está incluido en otro de augita, haciendo ver que es de primera consolidación.

Existe además en esta roca, magnetita abundante, kaolín y productos ferruginosos procedentes de la descomposición de sus elementos esenciales. Se trata, pues, de una andesita tipo, con piroxeno y anfíbol.

Roca del dique horizontal del pozo.—Tiene color pardo gris-oscuro. Dura y resistente. Fractura desigual. Se aprecian a simple vista los cristales de piroxeno.

Al microscopio se observa que está constituida por una pasta formada por microcristales de feldespato labrador ácido, de augita alargados, según la arista hg^1 , magnetita y masas arcillosas. También tiene algo de oligisto en bonitos cristales rojos.

Los fenocristales están constituidos exclusivamente por augita y magnetita. La primera es muy abundante en esta roca y se presenta en cristales muy sanos en secciones exagonales y rómbicas con el apuntamiento obtuso característico y frecuentemente maclados. La magnetita tiene muchas veces sus caras cristalinas bien determinadas.

Por sus elementos, la roca es, por tanto, una andesita piroxénica.

Dique hondo del pozo.—Tiene bastante analogía con la anterior. Las diferencias que se aprecian no afectan a la consti-

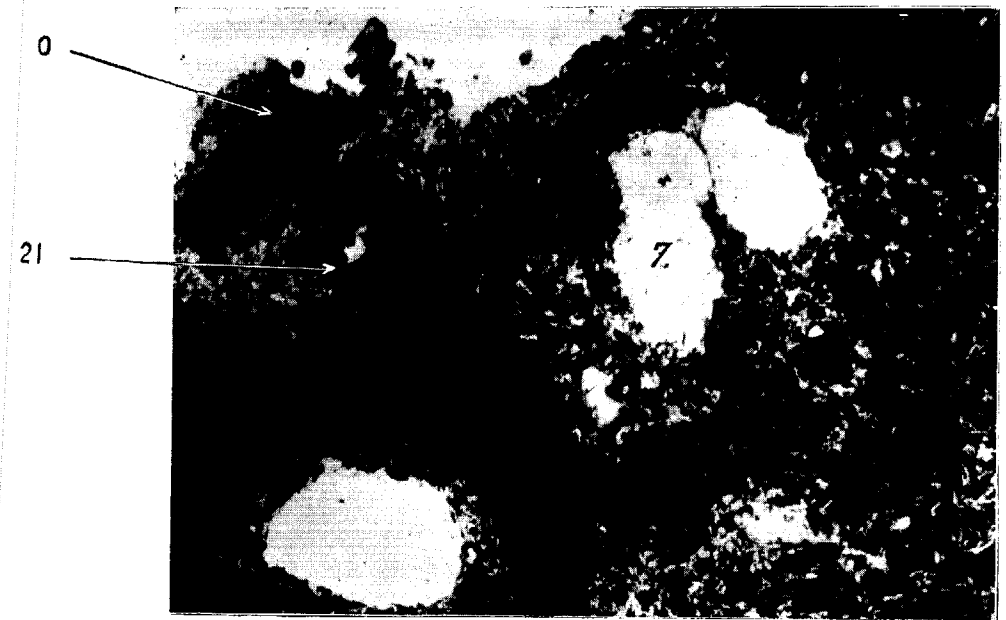


Fig. 1.ª

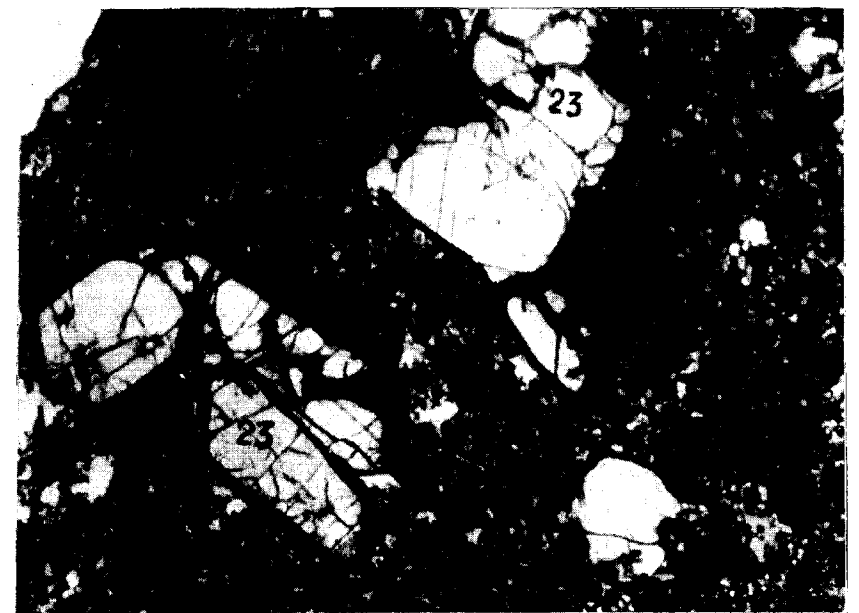


Fig. 2.ª

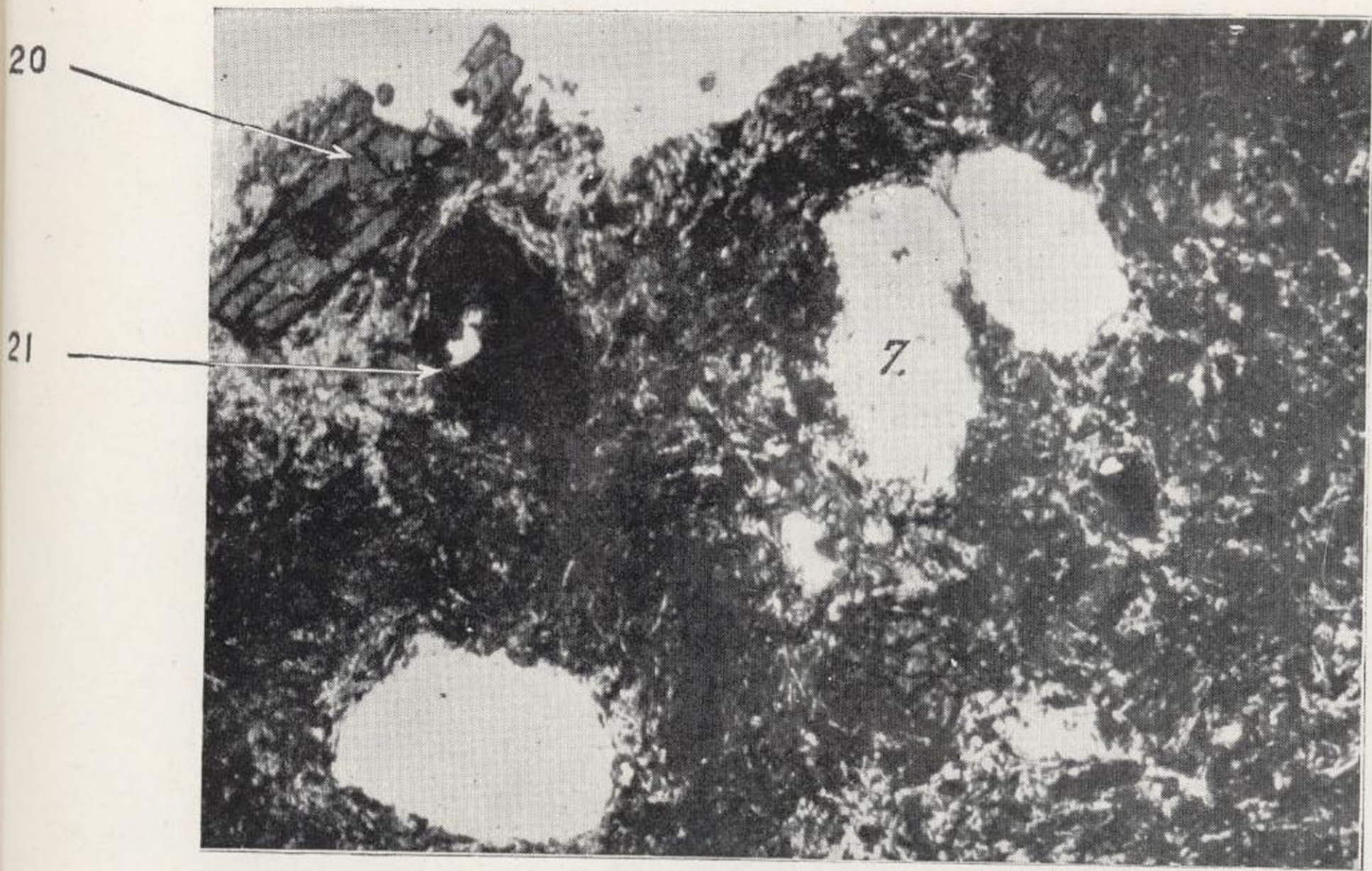


Fig. 1.^a

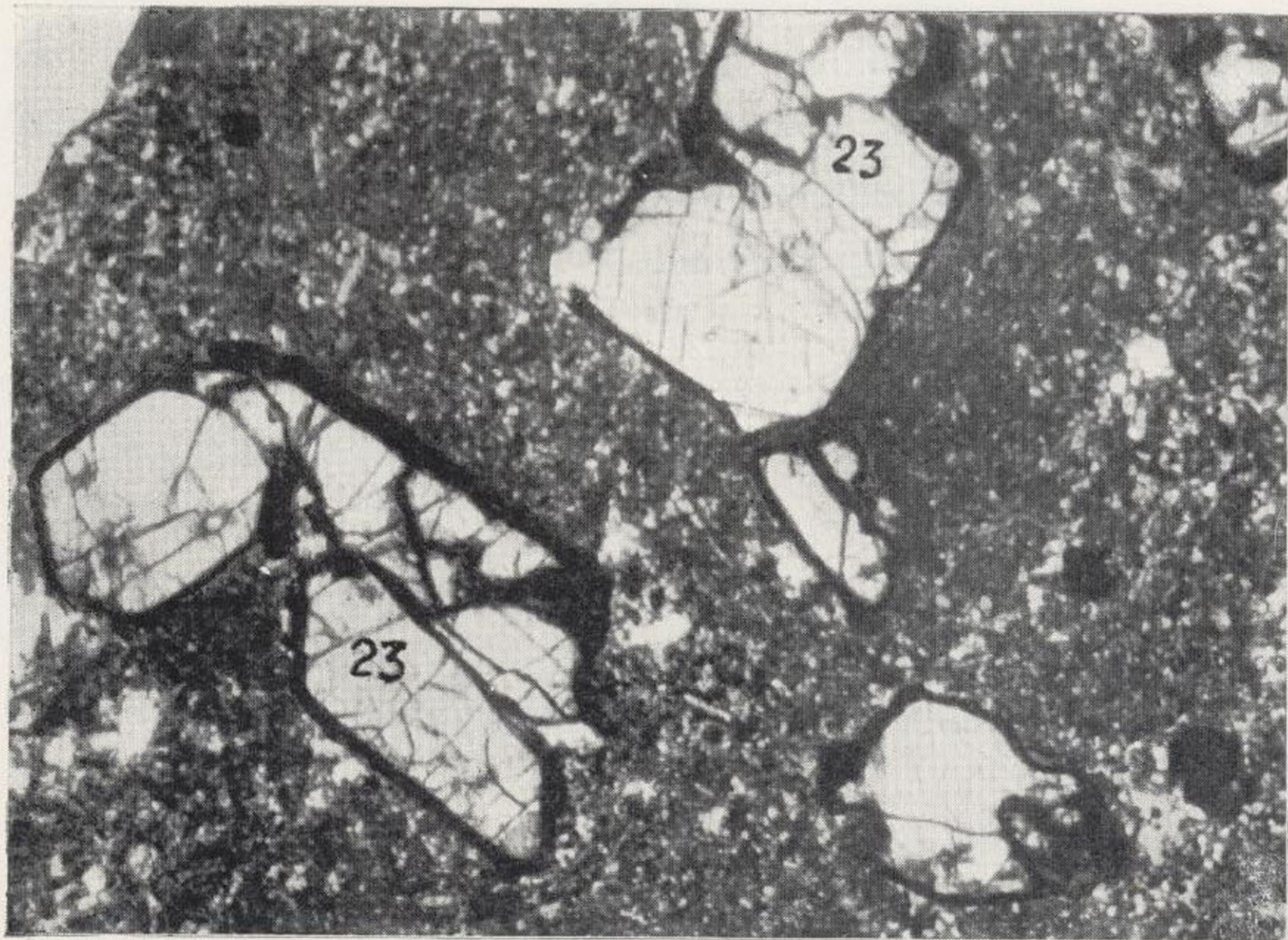


Fig. 2.^a



tución esencial de las rocas. Una de ellas consiste en que además de los cristales microscópicos de feldespatos los hay también grandes de plagioclasa, probablemente labrador ácido, con la macla característica de la albita.

En la preparación examinada de esta roca se echa de ver la existencia de esfena de color rosáceo en cristales aplastados en forma de techo, muy discroicos y que se destacan mucho en la preparación a causa de su gran índice de refracción. Hay también oligisto.

Es, por consiguiente, una andesita piroxénica, pero más feldespática que la anterior.

Fondo del pozo y frente de la galería.—Es roca de color gris pardo, muy deleznable y arcillosa, con manchas amarillentas y rojizas. Se aprecia, desde luego, que proviene de la descomposición de una roca eruptiva y del examen de ella al microscopio se deduce que debió ser roca análoga a las dos anteriores, porque se aprecian además de la pasta arcillo-ferruginosa debida a la descomposición de la roca, microlitos de plagioclasa y magnetita que indican claramente su naturaleza originaria. Las masas ferruginosas forman a veces vetillas y concentraciones.

Como fenocristales sólo se aprecian los de augita maclados de color amarillento-verdoso y magnetita. Hay en esta roca algo de clorita.

Es, pues, una andesita o una tova andesítica muy descompuesta y que viene a ser en definitiva, una pasta arcillosa envolviendo los cristales grandes y pequeños que se salvaron de la alteración.

Paredes del pozo.—Es un conglomerado formado por un cemento arcillo-ferruginoso, y que engloba cantos pequeños de rocas eruptivas redondeados, como habiendo sufrido fuerte

erosión. El cemento es de origen eruptivo. Los cantos son de andesita, unas veces piroxénica exclusivamente, otras conteniendo anfíbol y otras esfena. Es una tova descompuesta y alterada.

En la galería hecha para el reconocimiento del fondo del vaso, se ven las mismas rocas que en el pozo, predominando la tova volcánica y andesita descompuesta, arcillosa, ya descritas.

En la parte alta de las márgenes de los barrancos de Mierdejo y Corralites, y por encima de donde estaría la línea del remanso del embalse de la presa, se presenta formando crestones una roca de color pardo-oscuro, dura, resistente, con algunas manchitas amarillas.

Examinada al microscopio (fig. 2.^a), se observa que el olivino (23) predomina en las preparaciones en fenocristales bastante bien determinados, con sus apuntamientos agudos, a veces corroídos, y siempre metamorfizados en un depósito de limonita de color amarillo-rojizo, sin efecto con la luz polarizada. Se presenta muy agrietado y tiene inclusiones de magnetita cristalizada.

También entre los fenocristales de esta roca se halla la augita menos alterada que el olivino, pero a veces presentando la misma clase de alteración, lo que puede ocasionar la confusión de ambos minerales. Sin embargo la augita está ligeramente coloreada con un tinte gris-amarillento un poco policroica. Mientras que el olivino es completamente blanco y transparente. Por los apuntamientos de los cristales se aprecia también la distinción. El olivino tiene apuntamientos mucho más agudos que la augita. Y también la extinción cuando se puede apreciar la cara o el crucero del mineral da un carácter definitivo. Los cristales de augita forman agrupaciones y pre-

sentan algunas inclusiones de olivino y de magnetita. También este último mineral se presenta en cristales en esta roca.

La pasta de la roca es esencialmente microcristalina y feldespática. Está constituida por microlitos de labrador con tendencia fluidal que envuelven a los fenocristales. Existen también en la pasta microcristales de augita, magnetita y olivino.

En la descripción hecha se puede desde luego apreciar que esta roca constituye un basalto bien determinado.

En las márgenes de los dos barrancos se ven las tovas volcánicas constituidas como siempre por un cemento arcillo-ferruginoso que aprisiona a cantos de rocas eruptivas siempre de andesitas y que demuestran claramente que la consolidación de estas tovas fué durante la erupción andesítica y anterior al basalto, puesto que no parece hallarse en la tova ningún canto de esta roca.

De lo anteriormente expuesto parece deducirse que en el fondo de los barrancos Mierdejo y Corralites, en lo que ha de constituir el fondo del vaso, se presenta, en tongadas horizontales, una roca muy arcillosa que debe proceder de la descomposición de andesitas o de tovas andesíticas y que por sus cualidades es completamente impermeable.

Encima de esta roca y siguiendo por las márgenes de los dos barrancos, también hay en tongadas horizontales alternantes, tovas volcánicas consolidadas más o menos rápidamente y andesitas de distintas variedades: piroxénicas, con piroxeno y anfíbol y feldespáticas.

Las tovas, por su cemento arcilloso, son rocas impermeables, pero no sucede siempre lo mismo con las andesitas francas y sanas, porque su contacto con las tovas representa una línea de fractura y puede por ellas circular el agua. No creemos

pueda ocurrir esto en las rocas de las márgenes de los barrancos de Mierdejo y Corralites, porque en primer lugar, como rocas muy feldespáticas, dan por alteración muchos productos arcillosos y éstos, transportados por las aguas, atorarían fácilmente las grietas que pudiera haber.

Como las coladas de estas rocas eruptivas son sensiblemente horizontales, las que estén por debajo del fondo de los barrancos, por estar comprendidas entre rocas impermeables no pueden dar lugar a filtraciones. El único peligro está, a nuestro juicio, que hubiera algún dique horizontal de esta roca permeable en las márgenes de los barrancos por bajo del nivel del remanso del agua en la presa. Nosotros no hemos visto ninguno; mas en el caso que los hubiese nos parece que dados los depósitos arcillosos que se forman en las laderas de los barrancos, no habría peligro de que las aguas se sumieran, pero de todos modos exige si estos diques aparecieran, que se observara cuidadosamente al llenar la presa si había filtraciones; y en el caso que estas se comprobaran, fácil sería revestir las juntas con las tierras arcillosas impermeables que procedentes de las tovas tanto abundan en aquellos parajes.

A los basaltos se les puede considerar también como rocas permeables, pero nos parece que por debajo del nivel futuro del agua en la presa no hay ningún afloramiento. De todos modos, si apareciera algún dique de esta roca, habría que hacer lo mismo que hemos manifestado al hablar de las andesitas.

Lo peor sería la aparición de algún dique vertical que no hemos observado en el reconocimiento que hicimos del terreno. En este caso el revestimiento del dique tenía que ser muy cuidadoso.

Como resumen de todo lo manifestado, juzgamos que los barrancos Mierdejo y Corralites, por su constitución geológica,

reunen condiciones favorables para el emplazamiento de una presa y que sólo existen peligros lejanos de filtración de aguas a consecuencia de que puede haber algún dique eruptivo a lo que se puede poner pronto remedio con el revestimiento con tierras impermeables de su afloramiento.

Tenemos gusto en publicar esta nota por que sirva de ejemplo de lo mucho que se puede hacer en las islas Canarias para aprovechamiento de las aguas que hoy no hacen más que destruir cultivos, y que debidamente embalsadas, pueden dar lugar a tierras fértiles, haciendo que cada vez se extienda más en aquellas afortunadas islas las zonas de regadío, de cultivo tan intenso, a costa de los yermos y tierras incultas que ofrecen a la vista un aspecto desolador.

INFORME ACERCA DE LA CUENCA
HIDROLOGICA DE LA SIERRA DE MIJAS

POR

ENRIQUE DUPUY DE LOME

INGENIERO DE MINAS

INFORME ACERCA DE LA CUENCA HIDROLOGICA DE LA SIERRA DE MIJAS (PROVINCIA DE MALAGA)

INTRODUCCION

La ciudad de Málaga es dueña en virtud de donación de los Reyes Católicos y de su hija Doña Juana, de algunos manantiales que brotan al pie de la sierra de Mijas y no lejos del pueblo de Torremolinos; aunque los antiguos documentos que certifican esta donación citan ocho manantiales, no es posible hoy en día identificarlos todos y no sería extraño que en el transcurso de los siglos se hayan secado varios como recientemente ha sucedido con el llamado de la Cueva.

Además de los manantiales de la ciudad, existen otros de propiedad particular arrendados unos por el Ayuntamiento de Málaga para contribuir al abastecimiento de esta población, y explotados otros por sus dueños que utilizan las aguas en regar extensas zonas.

También hay un caudal importante de aguas que, aunque propiedad de la ciudad de Málaga, es usufructuado desde antiguo por los vecinos de Torremolinos, que lo emplean en varios molinos y en el riego de algunas huertas situadas no lejos de los nacimientos.

En uno de los últimos capítulos de este informe están in-

dicados los caudales de los alumbramientos, según los aforos practicados por los Ingenieros del Ayuntamiento de Málaga.

Con el objeto de asegurar un abastecimiento abundante de agua de excelente calidad, suficiente no sólo para las actuales necesidades de Málaga, sino teniendo en cuenta el natural crecimiento que en plazo corto ha de tener tan bella población, ha proyectado su Ayuntamiento una nueva conducción por medio de un canal trazado desde las fuentes de Torremolinos hasta unos depósitos situados en la parte más alta de la población.

La conducción está calculada para un rendimiento de 40.000 metros cúbicos diarios, y el coste de tan importante obra es de ocho millones de pesetas.

Con estas cifras queda demostrada la grandísima importancia que tiene la conservación de los actuales manantiales y, a ser posible, el aumento de su caudal.

En el presente informe expondré sucesivamente las condiciones geológicas e hidrológicas de la región que nos ocupa y examinaré la extensión y el régimen de lluvias de la cuenca de absorción de las fuentes, para en vista de su capacidad y del aforo de los manantiales existentes, determinar la posibilidad de aumentar su caudal.

En el resumen final contestaré concretamente a las preguntas formuladas por el Ayuntamiento de Málaga, indicando las medidas que han de tomar y puedan conducir al mantenimiento y aumento de los manantiales de Torremolinos.

ESTUDIO GEOLOGICO INTERIOR DE LA CUENCA HIDROLOGICA

La cuenca hidrológica que alimenta los manantiales de Torremolinos está formada exclusivamente por un tramo geo-

lógico y dentro de éste no se presenta más que una sola roca, si bien con múltiples variedades en su composición y textura.

En la Sierra de Mijas que integra la cuenca que estudiamos aparecen las calizas cristalinas correspondientes al arcaico o estrato cristalino. He determinado con toda exactitud los límites de estas calizas, según figura en el mapa geológico que acompaña a este trabajo, siendo, por lo tanto, inútil reseñarlos.

Toda la sierra está formada por una gran masa de calizas, muy fisuradas y resquebrajadas, con multitud de fallas y grietas que cortan los bancos en todos sentidos; en conjunto, forman una masa sumamente permeable capaz de absorber, retener y conducir, grandes caudales de agua a través de ella.

Es impropcedente el detallar la estratigrafía de la sierra, con las múltiples alteraciones que sufren los bancos en su dirección y buzamiento, pues a los efectos de la hidrología subterránea nos basta con saber que cualquiera que sea la posición de los estratos, el agua los atraviesa con suma facilidad.

Sin embargo, es curioso observar que en la parte oriental de la sierra las capas inclinan suavemente al SE. y E., es decir, hacia el punto de emergencia de las fuentes, buzamiento que puede observarse en la parte baja del arroyo de la Cueva de la Higuera, no lejos de Torremolinos, o en la cabecera del arroyo del Canuto, que desemboca al E. de Alhaurín de la Torre.

En la parte occidental de la Sierra, al N. de Mijas, los bancos están más levantados, con frecuentes cambios, tanto en su buzamiento, como en dirección, y existen varias grandes fallas que atraviesan la sierra.

Las calizas son, en su mayoría, cristalinas, otras talcosas, y entre Mijas y Alhaurín el Grande, donde asoma la base del

tramo, abundan los mármoles cipolinos blancos o grises, que se explotan en varias canteras.

La superficie de las calizas está sumamente careada, formando un suelo áspero y rugoso que dificulta el tránsito, pero favorece mucho la absorción del agua, pues sobre una superficie lisa e inclinada, resbalaría ésta con mayor facilidad, perdiéndose al descender por los numerosos barrancos que surcan la sierra. Nos falta indicar, por último, que no baja de 800 m. el espesor del tramo calizo en la sierra de Mijas.

TERRENOS IMPERMEABLES QUE RODEAN LA CUENCA

Estrato cristalino.—El límite SO. de la cuenca, o sea, el trayecto comprendido entre el Arroyo de la Miel y Alhaurín de la Torre, está formado por un término inferior de la serie arcaica, el tramo del gneis amigdaloides.

Se presentan las rocas que componen este tramo muy descompuestas en general, su feldespato completamente caolinizado, y más que bancos pétreos se encuentran masas térreas arcillosas.

El feldespato, convertido en arcilla, hace que la roca sea muy impermeable y sirva de dique que contiene las aguas que circulan por las calizas suprayacentes.

Solamente en algunos puntos, como sucede cerca del poste kilométrico número 5 del camino de Alhaurín el Grande a Fuengirola, se presenta la roca completamente sana, abundando, además del gneis glandular, el micáceo, con la mica en zonas que dan un aspecto fajeado a la roca. La escasez de puntos donde pueda observarse la roca sin descomponer ha sido causa, sin duda, de que los primeros geólogos que visitaron esta zona juzgaran que pertenecía toda la región al siluriano y como tal figura en el mapa geológico de España.

Tanto el gneis como los sedimentos paleozoicos que se encuentran cerca de Benalmádena, están atravesados por varios asomos hipogénicos, algunos de considerable extensión.

No pertenece a un informe hidrológico el delimitar estas manchas y mucho menos describir las variedades de rocas eruptivas que encierran; bástenos decir que en todos ellos las rocas están muy alteradas en la zona cercana a la superficie y que ni por su composición, ni por la forma en que se presentan, alteran la impermeabilidad de las regiones en que se hallan.

Así puede observarse que ni uno solo de los manantiales que hemos observado se encuentra en o cerca de los asomos hipogénicos.

La zona del gneis corresponde a la parte de la cuenca cuyo borde impermeable es más elevado, manteniéndose la línea de contacto de las calizas cristalinas con el gneis entre el Cortijo de San José, situado a tres kilómetros al O. de Benalmádena y Alhaurín de la Torre, a una altura comprendida entre 400 y 500 m.

Cambriano.—Es el terreno que con menos extensión limita la cuenca hidrológica, pues únicamente toca a las calizas arcaicas en una longitud de menos de un kilómetro al O. de Benalmádena.

Puede estudiarse este terreno en los ramalumbentos vecinos de este poblado, pues afloran allí sus pizarras y grauwacas muy levantadas. En conjunto forma un tramo completamente impermeable y así lo demuestra el que estos manantiales nazcan a considerable altura (280 m.), en lugar de infiltrarse por los estratos cambrianos para brotar a menor nivel.

La región de Benalmádena es de una estructura complicadísima y así lo reconocieron los geólogos franceses que visita-

ron esta región a raíz de los terremotos de 1884 (1) y trazaron un corte geológico desde Benalmádena hasta el mar.

A pesar de esta estructura, el terreno, en conjunto, es impermeable y únicamente se encuentran algunas fuentes de escasisimo caudal, que brotan en los estratos algo menos arcillosos.

Eoceno.—La gran mancha eocena de la orilla izquierda del Guadalhorce limita la cuenca hidrológica de la sierra de Mijas por el norte. En su parte oriental se apoyan sobre los estratos numulíticos las arcillas pliocenas de Churriana, mientras que en el extremo occidental de la mancha, el eoceno yace encima de los gneis del arcaico situado al SO. de Alhaurín el Grande.

El sistema que estudiamos está integrado en su borde exclusivamente por margas y arcillas, rocas ambas muy impermeables, que sirven de dique a las aguas que contengan las calizas cristalinas. El borde numulítico no es horizontal, sino que va ascendiendo rápidamente según se avanza desde Churriana, donde su cota es de 100 m., hasta por encima de Alhaurín el Grande en que se aproxima ésta a los 400 m.

Si el terciario forma una barrera infranqueable a las aguas de la sierra, no por eso deja también de almacenarlas, como lo demuestra la existencia de varios niveles artesianos que se han encontrado en los sondeos efectuados en la vega de Alhaurín de la Torre.

Podría creerse que estas aguas artesianas procediesen de las calizas del estrato-cristalino, pero ya hizo observar en un informe hidrológico el Excmo. Sr. D. Rafael Sánchez Lozano (2)

(1) «Étude géologique de la Serranía de Ronda». Mem. *Academia de Ciencias*. Tomo xxx, pág. 198.

(2) Informe con motivo de una instancia del Ayuntamiento de Málaga solicitando examen los terrenos próximos a la capital, por si pudiesen suministrar agua por medio de sondeos artesianos.

que «tienen diferente origen que las de Torremolinos y difieren notablemente de éstas por su composición química y porque brotan a temperatura algo más baja, a unos 18°, mientras que las de Torremolinos alcanzan hasta 21°. El ensayo hidrotimétrico comprueba que las aguas de Alhaurín, con sus 26 a 32°, son algo más crudas que las de Torremolinos, que alcanzan 24 1/2».

Plioceno.—Este sistema terciario limita la cuenca desde Churriana hasta el Arroyo de la Miel, si bien quedan cubiertos en parte los estratos que lo componen por una extensa formación diluvial.

De los distintos pisos que componen el plioceno, únicamente aparece el plaisenciense formado por arcillas amarillentas o grises que se explotan en varios tejares y alfarerías.

Las rocas que lo integran son completamente impermeables y así vemos que los socavones abiertos en ellas no han dado agua hasta atravesarlas y tocar la caliza cristalina.

El plioceno forma la parte más baja del borde que rodea la cuenca, pues sus bancos no se elevan a más de 100 m. sobre el mar.

A pesar de tratarse de un terreno tan moderno, no por ello están horizontales sus bancos, sino que se ven plegados y con inclinaciones de casi 45°, lo que demuestra lo recientes que han sido los últimos movimientos tectónicos en esta región.

Diluvial.—El diluvial merece citarse, pues sus manifestaciones más importantes son debidas precisamente a los mantiales que estudiamos, y al decir esto, me refiero a las mesetas de tobas calcáreas cuaternarias que se extienden por encima de Torremolinos, desde la sierra hasta el mar.

Estas tobas, que constituyen junto a Torremolinos acantilados de 30 y 40 m. de altura, están formadas por la evapora-

ción de agua con carbonato de cal, que depositó esta substancia aprisionando los juncos, hoyas, etc., de la frondosa vegetación que debía haber en aquellos lugares; el origen terrestre de los bancos queda demostrado por la multitud de helix y otros gasterópodos terrestres que contienen.

La caliza travertínica se explota en varias canteritas junto a Torremolinos y recibe en el país el nombre de «cantillo», no debiendo confundirse esta roca con la caliza tosca miocena también conocida por el mismo nombre.

Para exponer con más claridad la disposición de los terrenos geológicos que acabo de describir, he trazado un corte geológico de Torremolinos a Alhaurín de la Torre, que cruza normalmente la parte oriental de la cuenca receptora de los manantiales.

ESTUDIO HIDROLOGICO

LA CUENCA HIDROLOGICA DE SIERRA DE MIJAS

Ante todo debemos examinar si esta cuenca es independiente, es decir, si el agua de los manantiales procede únicamente de las pluviales precipitadas en la sierra, o si pudiese proceder de otras regiones más lejanas.

Ya hemos visto que las calizas permeables del arcaico están rodeadas por una barrera de rocas impermeables, pero claro es que siendo las calizas más antiguas que las formaciones que la rodean (a excepción del gneis), pudiera suceder que por debajo de los terrenos más modernos se enlazasen sus bancos con los de alguna otra sierra y formando un sifón condujesen el agua hasta la de Mijas.

A esto se oponen dos razones: una de orden geológico, pues hasta echar una ojeada sobre un mapa de la provincia,

para ver que las únicas manchas arcaicas cercanas están al O. de la sierra de Mijas, rumbo por el cual no pueden prolongarse las calizas, pues ya hemos visto que asoman aquí los gneis del tramo infrayacente. La otra razón es de orden hidrológico; para que las aguas procedentes de otras sierras llegasen a la de Mijas, es necesario que pasasen por debajo de las cuencas artesianas terciarias que hemos dicho tienen una hidrología subterránea independiente y como el espesor del terciario no es inferior a 200 m., las aguas que pasasen por debajo de él no tendrían menos de 7° de elevación de temperatura (1° por cada 30 m.), cosa que no sucede en Torremolinos, pues dicha elevación sobre la medida anual no es más que de un grado y medio.

Vemos, pues, que el agua que brota en los bordes de la cuenca de Mijas procede exclusivamente de las que recibe la sierra y a esta tendremos, por lo tanto, que limitar nuestro estudio.

El agua procedente de la lluvia y demás meteoros se infiltrará en parte por las calizas oquerosas y agrietadas que forman el suelo de la sierra, mientras que otra parte resbalando por la superficie saldrá de la cuenca yéndose a perder al mar por los múltiples arroyos y barrancos que la cruzan. Más adelante veremos la dificultad que presenta la determinación del coeficiente que marque la relación entre el agua precipitada y la que penetre en las calizas incorporándose al agua subterránea.

Las calizas arcaicas tantas veces citadas, forman una serie estratigráfica cruzada por múltiples grietas longitudinales y transversales resultantes de la acción geodinámica que levantó y plegó los estratos y de la contracción de las calizas, grietas agrandadas sucesivamente por la circulación de las aguas

subterráneas que han ido disolviendo las paredes de los conductos por donde pasaban, es decir, que las aguas meteóricas no experimentarán ninguna dificultad en circular por las calizas que constituyen el gran macizo de la sierra hasta llegar al nivel hidrostático.

Si la constitución de la sierra fuese tan sencilla, toda el agua tendría tendencia a salir por la escotadura más baja de la barrera impermeable que rodea a la sierra; pero no sucede así: hay algunas zonas más impermeables, fallas que la atraviesan, etcétera, circunstancias que motivan la emergencia de fuentes en puntos de cota elevada, como Mijas o Alhaurín el Grande.

En el esquema panorámico de la falda meridional de la sierra de Mijas que acompaña este trabajo, he señalado la línea que marca la unión de los terrenos permeables e impermeables, así como el punto de emergencia y la cota de las principales fuentes que brotan en esta ladera.

Como puede verse, esta línea, o sea el borde de la barrera impermeable, no es horizontal, sino que tiene un punto más bajo en Churriana y sus mayores alturas cerca de Mijas.

En el mapa geológico de la región he señalado la posición de los principales alumbramientos.

PRINCIPALES ALUMBRAMIENTOS DE LA SIERRA DE MIJAS

Empezaré por los manantiales más orientales, los de Churriana, siguiendo con los demás alumbramientos que se encuentran en la periferia de la cuenca al recorrer ésta en el sentido de las agujas de un reloj.

El manantial más caudaloso de Churriana es la llamada *Fuente del Rey*, propiedad de la Ciudad de Málaga, y que

sirve, no sólo para abastecer la primer población, sino para regar las extensas huertas que la rodean.

El agua nace en el fondo de una alberca situada a unos 55 m. de altura sobre el mar, siendo ésta la fuente de cota menos elevada. El manantial está enclavado en el plioceno, pero a cortísima distancia se yerguen las calizas arcaicas de donde proceden las aguas.

El canal proyectado para la conducción de aguas a Málaga pasa un poco por debajo de esta fuente, no habiendo ninguna dificultad de orden técnico que impida el conducir las, en todo o en parte, a esta población.

Para evitar repeticiones, no citaré el aforo de ninguna de las fuentes, más que en un epígrafe dedicado especialmente a esto.

A unos 200 m. de este manantial hay otro también bastante importante llamado *Alveon o Buenavista*, que nace en idénticas condiciones geológicas; es de propiedad particular y riega una hermosa vega.

A escasa distancia de la *Fuente del Rey* y con una cota un poco más elevada, hay un manantial de poca importancia que nace en una larga galería excavada en las arcillas pliocenas.

Aun hay cerca de Churriana varios alumbramientos pequeños, mas si son todos de escaso caudal, merecen citarse los de la *Gamera, Carambuco, San Javier, El Retiro, La Balcoca* y *Coliche*; en unos brotan las aguas en las arcillas pliocenas, en otros en las margas numulíticas; pero todos proceden de las calizas arcaicas de la vecina sierra.

El caudaloso alumbramiento de *Rojas*, perteneciente a la casa Larios, nace a unos 200 m. del camino de Churriana a Torremolinos, al pie de una gran fuente de calizas del estrato-

cristalino, y sus aguas riegan una extensa vega que traspasa la carretera de Málaga a Cádiz.

El manantial llamado *Albercón del Rey*, el que principalmente surte de aguas a Málaga, es propiedad de dicha ciudad y constituye parte de la donación de los Reyes Católicos. El agua nace a una altura de 60 m. sobre el mar en varias grietas de las calizas arcaicas, su temperatura es de 20°, y su caudal sumamente constante, no notándose aumento en los períodos lluviosos.

Antiguamente el caudal fué mucho mayor que en la actualidad, pero alumbramientos efectuados en la proximidad de la fuente le han hecho disminuir considerablemente.

A cortísima distancia de este manantial hay una fuente de caudal mucho más escaso que llaman *Filtraciones del Albercón*, por suponer, muy fundadamente, que sus aguas proceden de las mismas grietas del manantial del *Albercón*.

En idénticas condiciones geológicas nace el manantial llamado de *Inca*, propiedad también de Málaga, si bien el usufructo lo tienen varios particulares que emplean sus aguas durante cinco días a la semana en mover molinos situados entre el punto de emergencia y el mar, mientras que los restantes dos días la utilizan en el riego. La altitud de este manantial es igual a la del *Albercón*, es decir, 60 m.

Cerca del alumbramiento de *Inca* estuvo el de *La Cueva*, con una cota de 65 m.; este manantial, bastante caudaloso antiguamente, se quedó seco en 1904, por haber bajado en esa época el nivel hidrostático de la región.

En *La Cueva* se presentan grandes bancos de conglomerados calizos formados por cantos de caliza cristalina con cemento calizo, formación cuaternaria que cubre las calizas arcaicas que no deben hallarse muy profundas.

Un poco más a poniente de este alumbramiento está el de *La Pellejera*, con un pozo maestro de 18 m. de profundidad y dos galerías, una de alumbramiento y otra llamada de conducción, si bien en ambas nace el agua al cortar las grietas del estrato-cristalino en que están en parte excavadas. Las aguas de este alumbramiento son de propiedad particular, excepto un 11 por 100 que pertenecen a Málaga en virtud de sentencia del Tribunal Supremo, como más adelante explicaré; en la actualidad el restante 89 por 100 lo tiene arrendado el Ayuntamiento malagueño y contribuye al abastecimiento de la población.

El nacimiento de *San José* está a un kilómetro al O. del anterior y nace en el contacto del estrato-cristalino con el diluvial. Es de propiedad particular y está también arrendado por el Ayuntamiento, que conduce sus aguas junto con la de los manantiales antes citados a Málaga.

Al efectuarse hace años la galería de alumbramiento de *San José*, quedó seco un manantial situado un poco más alto llamado el *Pozuelo*, fenómeno que es natural se verifique cada vez que se hagan obras en un nivel algo inferior y próximo a alguno de los manantiales existentes.

Los nacimientos de *La Pellejera* y *San José* sufren variaciones importantes en su caudal al poco tiempo de ocurrir grandes temporales de lluvia, mientras que ya he dicho que el del *Albercón* es de caudal casi constante; también he observado que la temperatura de aquéllos es un poco menor, 19 1/2°, y cabe en lo posible que esto sea debido a que parte de las aguas de los manantiales primeramente citados circulen por grietas más cercanas a la superficie, que tienen una temperatura menor y están más afectadas por los fenómenos meteóricos.

Las fuentes de la falda meridional de la sierra de Mijas son mucho más pobres y espaciadas; la primera que encontramos, la del *Arroyo de la Miel*, nace al pie de las calizas arcaicas limitadas al E. del poblado del mismo nombre por el plioceno y al O. por un gran dique eruptivo diorítico que se dirige desde cerca de la costa con dirección N. 30° O. hasta llegar a las calizas del estrato-cristalino. El nacimiento está situado a 100 m. de altura sobre el mar.

En Benalmádena hay tres manantiales (además de varias fuentecillas, de tan escasisimo caudal que ni citarse merecen); el primero brota al pie de un saliente de las calizas y como a un kilómetro al E. de la población; los otros dos, más caudalosos, nacen entre los pizarrones paleozoicos, uno dentro del pueblo, el otro en su extremo occidental, y aunque las fuentes estén situadas en el terreno primario, sus aguas proceden de las calizas cristalinas inmediatas. Las fuentes nacen a la considerable altitud de 270 m. y sus aguas proceden principalmente de la Loma Grande, contrafuerte algo separado del macizo de la sierra.

Los *Nacimientos de Mijas*, situados en la cabecera del arroyo de las Presas, son los más altos de la sierra, pues brotan por encima de los 400 m. Son de caudal muy importante, sobre todo uno que mueve varios molinos situados por debajo del camino de Benalmádena a Mijas.

Estos manantiales han producido unos depósitos de caliza tobácea análoga a la de Torremolinos; alguno de estos depósitos con grandes cuevas cubiertas de estalactitas tiene más de 30 m. de espesor.

Entre Mijas y Alhaurín el Grande nacen algunos veneros en el gneis, pero su caudal es tan pobre que prescindo de reseñarlos.

Las *Fuentes de Alhaurín el Grande*, cuyas aguas proceden de la sierra de Mijas, son dos: una llamada del *Chorro*, de gran caudal, nace en unos mantos de conglomerado calizo que están situados cerca del límite del arcaico con el numulítico. Brota a los 290 m. y riega una extensa vega de frutales y hortalizas.

La otra fuente, llamada de *Montancha*, tiene un caudal mucho más reducido; brota a un kilómetro al E. de la anterior, en idénticas condiciones geológicas, y se utiliza también en el riego.

En la vertiente septentrional de sierra de Mijas hay varias fuentecillas de escasisimo caudal, que no creo necesario reseñar, y una bastante importante que tiene su punto de emergencia como a un kilómetro al S. de Alhaurín de la Torre, y que además de utilizarse en un molino y en el abastecimiento del pueblo, riega una extensa zona.

Con esto quedan enumerados rápidamente los manantiales que tienen su origen en las calizas cristalinas de la sierra de Mijas.

CONEXION ENTRE LOS DISTINTOS MANANTIALES

Acabo de decir que todos los alumbramientos citados tienen su origen en la sierra de Mijas y sus aguas proceden de las pluviales que en ella se precipitan.

A pesar de esta comunidad de origen hay dos grados de conexión diferente: una, la directa entre las fuentes que emergen al mismo o casi al mismo nivel en el extremo oriental de la sierra, y otra, mucho más imprecisa entre estos alumbramientos y los que nacen en el resto de la sierra, pero a alturas mucho mayores.

La relación de estos manantiales con los primeros es su-

mamente indirecta, pues las grietas por donde circulan las aguas de unos y otros nada tienen que ver entre sí, y sinó no se explica que broten las aguas en Mijas a 400 m. de altitud, si circulando a través de las calizas de grieta en grieta pudiesen emerger en Torremolinos a los 60 m.

En cuanto a los nacimientos del extremo oriental de la sierra, los de Torremolinos y Churriana están íntimamente ligados, pues las calizas se pueden considerar como una sola masa cruzada en todos los sentidos por grietas que comunican entre sí. Cualquier obra que se ejecute en alguno de los alumbramientos existentes o nuevo alumbramiento que se intente hacer en un nivel igual o inferior y que haga surgir un caudal de agua, necesariamente hará disminuir el de los restantes manantiales, y no cabe duda que un socavón emboquillado en una cota bastante inferior al de las fuentes y que fuese suficientemente largo, es decir, que cortase un número muy elevado de grietas, haría bajar lo bastante el nivel hidrostático de las calizas para que cesasen de manar todas las fuentes existentes.

Esto mismo que señala la teoría ha sido confirmado varias veces por la práctica, y así se han quedado secos algunos manantiales al alumbrar otros, como ha sucedido con los de la *Cueva* y el *Pozuelo*, o ha quedado mermado su caudal, como ocurrió con el del *Albercón*, al efectuarse los alumbramientos de Larios y de *La Pellejera*.

En este último se vió además, que al cerrarse la galería por donde salen a la superficie sus aguas y dejar éstas de brotar, aumentaba en un 11 por 100 de su caudal el del *Albercón del Rey*, razón por la cual, después de un largo pleito, se indemnizó a la ciudad de Málaga en el perjuicio que había sufrido al menguar las aguas del *Albercón*, concediéndole el 11 por 100 de las que salen de *La Pellejera*.



La relación que existe entre los distintos alumbramientos, ya fué indicada por el distinguido geólogo Excmo. Sr. D. Rafael Sánchez Lozano, que intervino como perito nombrado por el Director del Instituto Geológico en el pleito antes mencionado, pues en una de las conclusiones de su informe, dice:

«Hay fundamento para creer que el alumbramiento de *La Pellejera* ha sido causa eficiente, mas no única, en la merma sufrida por los manantiales *Inca* y *Albercón del Rey*, con posterioridad al mes de Agosto de 1908 y debió serlo también en los de *La Cueva*, en el supuesto de que esta fuente manara después de la referida fecha.

A la producción de las mermas posteriores al mes de Agosto de 1908 ha debido contribuir la escasez relativa de lluvias en la comarca, y por lo que concierne a las anteriores al mismo mes de Agosto de 1908 hay fundado motivo para creer que se hayan producido por consecuencia de los trabajos de alumbramiento llevados a efecto por los Sres. Asiego y Larios.»

Una vez terminado el estudio geológico e hidrológico de la sierra, nos falta examinar el volumen de agua que recibe la cuenca de recepción de las fuentes, y determinar el aforo, aunque sea aproximado, de éstas, para ver si hay posibilidad o no de lograr un aumento en su caudal.

CAPACIDAD DE LA CUENCA DE LA SIERRA DE MIJAS

Tres factores distintos influyen en el volumen de agua que se infiltra al interior de la sierra: la superficie de la cuenca de recepción, el volumen de agua precipitada y el coeficiente que señale la relación entre el agua precipitada y la absorbida.

a) **Superficie de la cuenca.**—En el mapa geológico que acompaña este trabajo y que está ejecutado sobre el mapa topográfico en escala 1:50.000, publicado por el Instituto Geográfico y Estadístico, he señalado con la mayor precisión posible los límites de las calizas permeables cristalinas que constituyen la cuenca de recepción.

La superficie comprendida dentro de estos límites comprende 87,2 kilómetros cuadrados, que es la extensión de la cuenca referida.

b) No hay datos relativos a la producción de meteoros acuosos en la sierra de Mijas, pues no existe en ella ninguna estación pluviométrica. En su parte baja variará poquísimamente con la altura media anual de lluvias que marque el pluviómetro en Málaga y que, según los datos del Observatorio Astronómico de Madrid, es de 540 mm.

Pero hay que tener en cuenta que la sierra se eleva a la considerable altura de 1.150 m. en el Pico de Mijas y que tiene una arista paralela al mar, cuya altura en una longitud de 10 km. no baja de 700 m. formando una pantalla, donde no solamente son mucho mayores las lluvias, sino que se detienen las nieblas abandonando grandes volúmenes de agua.

Es extraordinario el aumento de los meteoros acuosos en algunas sierras vecinas al mar y orientadas convenientemente, mereciendo citarse el caso de la sierra de Grazalema referido por el geólogo D. Juan Gavala (1), pues siendo la lluvia media anual observada en el Observatorio de Cádiz, a orillas del mar, durante el período de 1914, 1915 y 1916, de 640 mm., la altura de lluvia señalada en la estación pluviométrica de Grazalema llegó a las enormes cantidades 2.744 m. en 1914; 2.864 m. en 1915 y 2.749 en 1916.

(1) «La serranía de Grazalema». *Boletín del Instituto geológico*. T. XIX.

Desde luego no llega ni con muchísimo a tan elevada cifra el agua precipitada en la sierra de Mijas, pero sí puede asegurarse que en toda la parte más elevada de la sierra las precipitaciones son mucho mayores que en Málaga.

A faltas de datos más fehacientes no me parece aventurado el calcular en 800 mm. la media anual de agua precipitada en el conjunto de la sierra, es decir: en los 87,2 km.² de la cuenca de recepción, 6.976.000 m³; anuales, que corresponden a 193.600 m³ diarios.

c) **Coefficiente de absorción.**—Este coeficiente indica la relación entre los meteoros acuosos precipitados y el agua que llega al nivel hidrostático, y por lo tanto pueden surgir en los manantiales.

Se han hecho en el extranjero muchas experiencias para determinar este coeficiente, pero se comprende que las circunstancias locales en cada caso varían enormemente, y es muy expuesto a errores el aplicar una cifra que se ha obtenido en otra región. Influyen en la mayor o menor facilidad de la absorción, el régimen de las lluvias, es decir, que éstas sean torrenciales o no; el relieve del suelo, pues es natural que en laderas muy inclinadas el agua resbala y se pierde en su mayor parte; la existencia o no de un manto más o menos impermeable que cubra las rocas del subsuelo; la permeabilidad de las rocas que pueden ser permeables consideradas en grande o en pequeño y algunas circunstancias más de menor importancia.

Para determinar exactamente el coeficiente aplicable a la sierra de Mijas, sería necesario instalar permeómetros en distintos puntos, escogiendo unos en terreno llano y otros en laderas más o menos inclinadas, y determinar después de varios años de observación cual es el coeficiente medio.

En el extranjero, la media de los coeficientes determinados por los especialistas en esta ciencia, es de 35 por 100 de agua infiltrada en el suelo.

A mí me parece demasiado elevado para la comarca que nos ocupa, pues ocurren las siguientes circunstancias, todas desfavorables:

a) Más del 50 por 100 de la cuenca tiene laderas que inclinan cerca de 45°.

b) No existe ni vegetación ni manto de tierra permeable que impida que el agua escurra sobre las rocas y se pierda para la hidrología subterránea.

c) El régimen de lluvias, según se desprende del examen detenido de los datos recogidos en la estación pluviométrica de Málaga, es muy desigual, abundando las lluvias torrenciales.

d) El clima cálido y los vientos secos tan frecuentes en la región, han de aumentar mucho la evaporación.

En vista de estas condiciones, desfavorables todas, estimo que no se puede tomar un coeficiente mayor de 0,25.

En este supuesto, los 193.600 m³ que se precipitan en la cuenca diariamente, nos darían 48.400 m.³ infiltrados en el macizo calizo.

AFORO DE LOS MANANTIALES

Visto el volumen aproximado de agua que recibe la cuenca hidrológica subterránea, veamos el que brota por los manantiales que la rodean.

Para aproximarnos lo más posible a la verdad en este informe, hubiese sido necesario aforar cuidadosamente todos los manantiales existentes, cosa que no ha sido posible ni oportuno hacer, pues no hay que olvidar los encontrados intereses que

intervienen en todo asunto de este género y las suspicacias y recelos que cualquier operación efectuada en las fuentes hubiese despertado.

Los únicos aforos exactos son los suministrados por los Ingenieros del Ayuntamiento de Málaga, que semanalmente miden el volumen del agua de los manantiales que abastecen a Málaga.

Hecha estas salvedades, a continuación enumero los manantiales que antes he citado:

Albercón del Rey.	7.800 m. ³
La Pellejera.	5.400 »
San José.	7.600 »
Rojas	8.000 »
Fuente del Rey.	1.500 »
Buenavista, La Gamera, Carambuco, San Javier, El Retiro, La Balcocá, Coliche, etc.	1.000 »
Arroyo de la Miel.	1.500 »
Benalmádena.	2.000 »
Mijas.	1.500 »
Chorro (Alhaurín el Grande).	6.000 »
Montacha (Alhaurín el Grande).	1.000 »
Alhaurín de la Torre	2.000 »
TOTAL.	<u>45.300 m.³</u>

Vemos que esta cifra es muy parecida a la que se infiltra en la cuenca, lo que nos demuestra que toda el agua que llega al nivel hidrostático sale a la superficie sin que se pierda alguna y brote en el fondo del mar, como era de temer dada la proximidad de las calizas a la costa.

Terminado con esto el estudio hidrogeológico de la sierra de Mijas, voy a contestar concretamente y como resumen a las demandas formuladas en la instancia del Ayuntamiento de Málaga, indicando los trabajos susceptibles de mantener y aumentar el caudal de los manantiales.

R E S U M E N

AUMENTO EN EL CAUDAL DE LOS MANANTIALES

Hemos visto que la sierra de Mijas constituye una cuenca hidrológica independiente y que el caudal de los manantiales corresponde al del agua infiltrada.

En estas condiciones, cualquier obra que se ejecute en los manantiales no aumentará la cuenca que corresponde a la totalidad de éstos, y si solamente la cuenca de recepción propia de ese manantial, y cualquier aumento conseguido en este manantial será a costa del caudal de los manantiales vecinos.

Estimo, pues, como improcedente el efectuar ningún trabajo en los manantiales de la ciudad de Málaga que tengan por objeto un aumento en su caudal.

MANTENIMIENTO DEL CAUDAL DE LOS MANANTIALES

Pero si una labor ejecutada en los manantiales de la ciudad de Málaga producirá una disminución en el caudal de las aguas de los otros manantiales, cualquier obra, a su vez, que se ejecute en uno de propiedad particular hará mermar el caudal de los primeros, caso que ya hemos visto ha sucedido en repetidas ocasiones.

Para mantener el actual caudal de los alumbramientos de la ciudad de Málaga, es necesario impedir que se ejecute ninguna obra que tenga por objeto aumentar el caudal de los otros manantiales existentes, o buscar otros nuevos. Esta zona de protección debe extenderse a toda la región en que los manantiales tienen conexión directa entre sí, o sea la zona de

Torremolinos y Churriana en que las aguas proceden directa o indirectamente de las calizas cristalinas.

De no hacer esto se corre el riesgo de que algún trabajo de alumbramiento haga descender el nivel hidrostático de la región y disminuyan o aun queden completamente secos los actuales nacimientos.

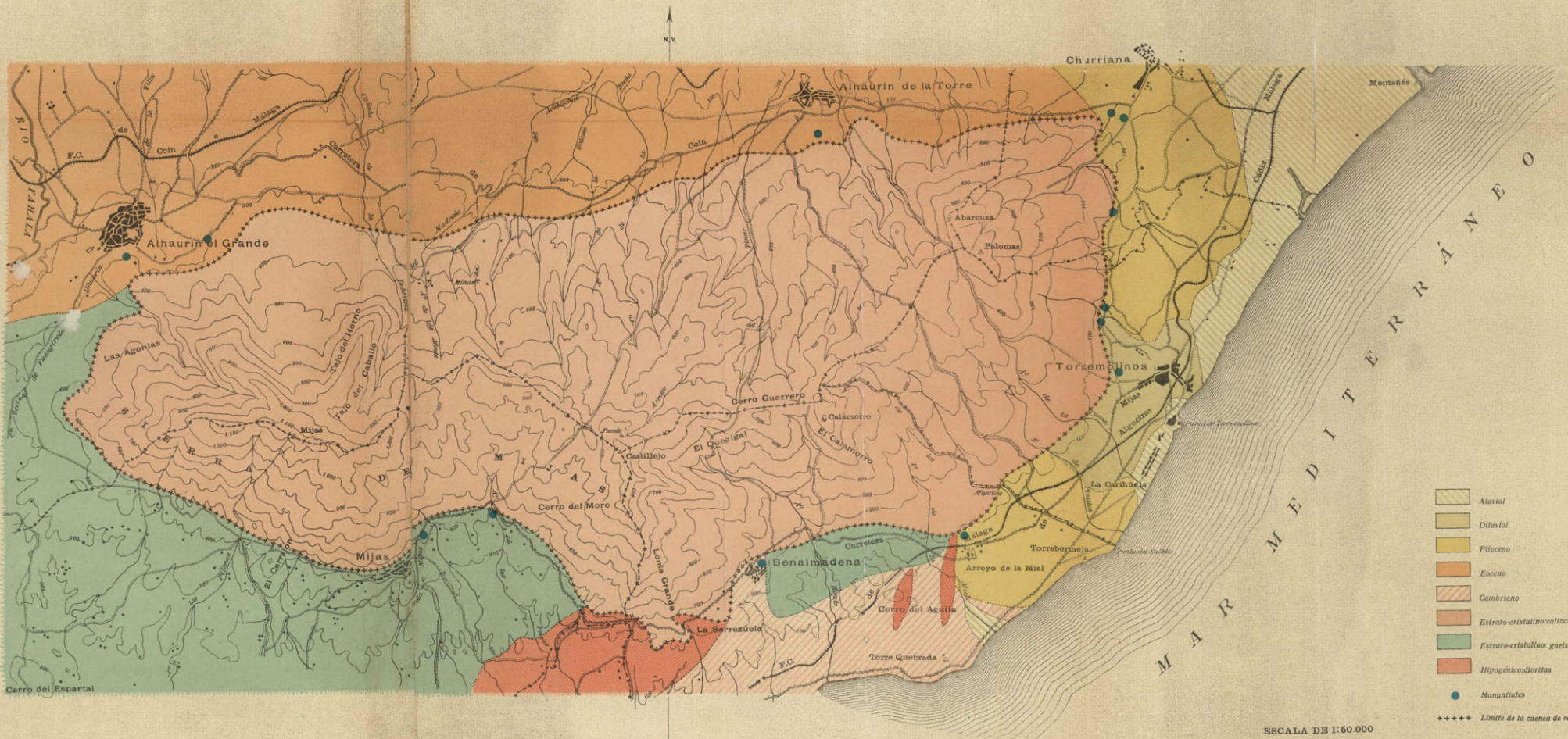


LÁMINA 1.

Tomo V. Tercera serie.

PLANO HIDRO-GEOLÓGICO DE LA SIERRA DE MIJAS

Por EDUPUY de LÔME
Ingeniero de Minas

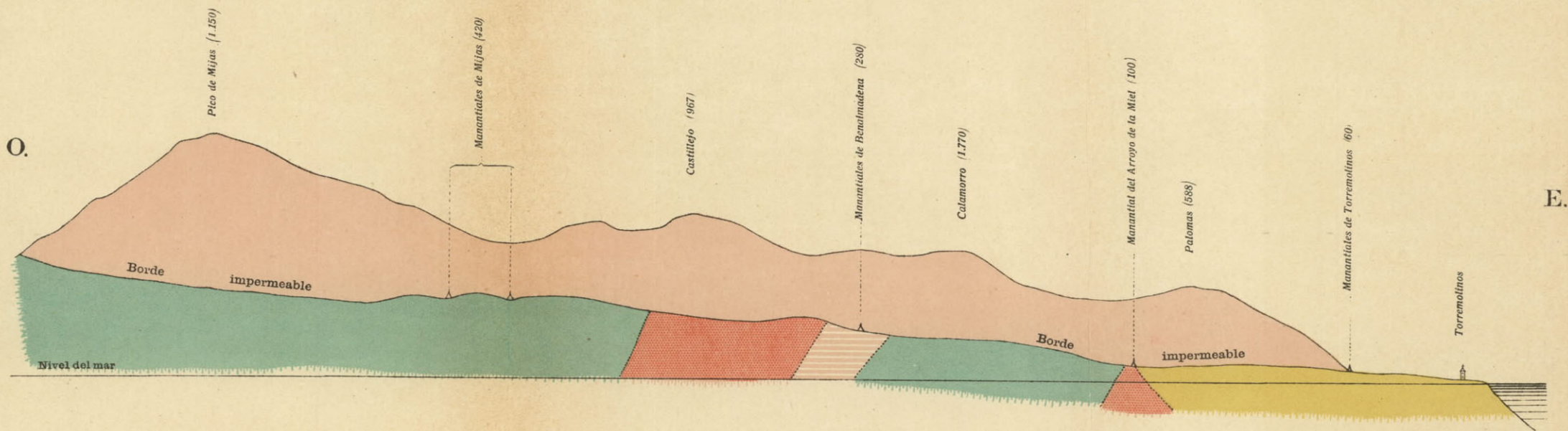


- Aluvial
- Diluvial
- Plioceno
- Eoceno
- Cambriano
- Estrato-cristalino: calizas
- Estrato-cristalino: gneis
- Hipogénico: dioritas
- Manantiales
- +++++ Limite de la cuenca de recepción

ESCALA DE 1:50.000



ESQUEMA PANORÁMICO DE LOS MANANTIALES DE LA FALDA MERIDIONAL DE LA SIERRA DE MIJAS.

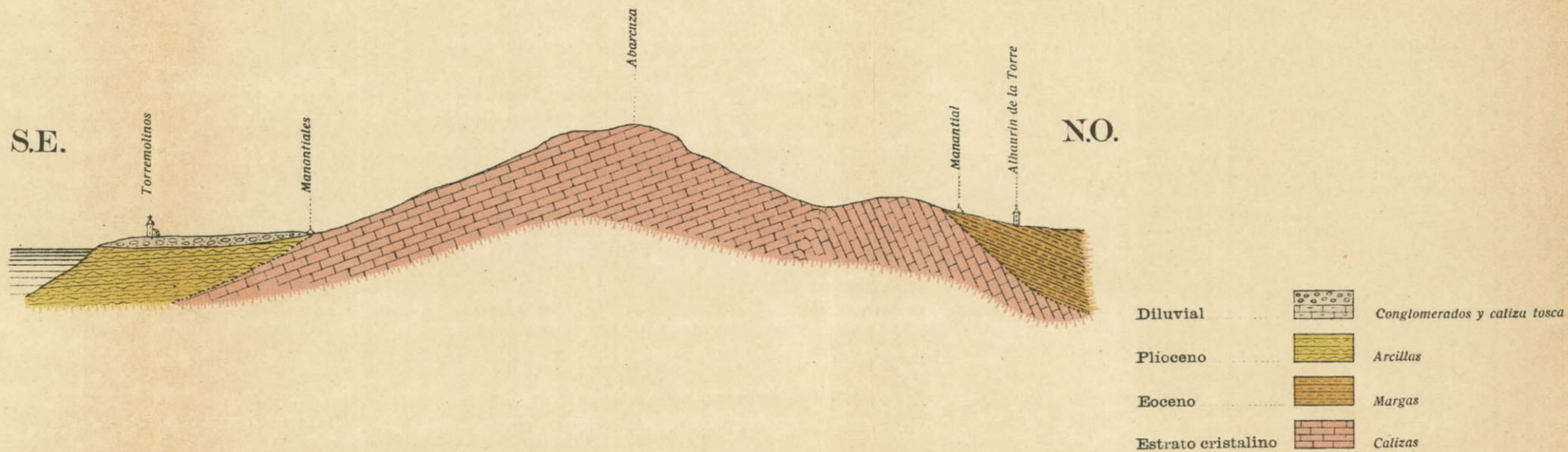


- Plioceno
 - Cambriano
 - Calizas...
 - Gneis.....
 - Hipogénico: diortas
- } Estrato cristalino

ESCALA DE 1:50.000
Alturas dos veces mayores



CORTE DE LA SIERRA DE MIJAS ENTRE TORREMOLINOS Y ALHAURÍN DE LA TORRE



ESCALA DE 1:50.000 ; Alturas dos veces mayores

INFORME SOBRE EL ABASTECIMIENTO
DE AGUAS DE LA CIUDAD DE SEVILLA

POR

JUAN GAVALA Y JAVIER MILANS DEL BOSCH

INGENIEROS DE MINAS

INFORME
SOBRE EL ABASTECIMIENTO DE AGUAS
EN LA CIUDAD DE SEVILLA

Como consecuencia de la petición formulada por el Excelentísimo Ayuntamiento de Sevilla al Ministerio de Fomento, fuimos designados por el Director del Instituto Geológico para llevar a cabo el estudio del abastecimiento de aguas de Sevilla, y redactar el presente informe en el que se estudian con la debida independencia los dos extremos siguientes: 1.º Medios de mejorar el suministro de la población mediante aprovechamientos complementarios y obras de fácil y rápida ejecución encaminadas a hacer frente en el próximo estiaje a la escasez alarmante de agua, padecida en los últimos veranos, y 2.º Posibilidad de modificar radicalmente el deficientísimo abastecimiento actual y de completarlo en la medida que imponen las necesidades modernas de orden doméstico e industrial y los servicios públicos con aguas procedentes exclusivamente de la «Cuenca del Guadaira», que es el nombre con que se designa en Sevilla a la faja de terrenos permeables comprendida entre Carmona y Dos Hermanas, y en cuyos bordes nacen las aguas que desde tiempo inmemorial abastecen la población.

He aquí, en síntesis, el resultado de nuestro estudio:

La «Cuenca del Guadaira» tiene capacidad productora suficiente para haber podido hacer hasta aquí el abastecimiento de Sevilla sin tantas deficiencias como se notan en dicho ser-

vicio, y capacidad *sobrada*, sin duda alguna, para que el vecindario no se le hubiera creado la situación angustiosa de los últimos veranos; pero sería cerrar los ojos a la realidad, tener un concepto equivocado y mezquino de lo que será Sevilla el día de mañana, desconocer el rápido e incesante aumento de su población y el desarrollo enorme que en los últimos años han tenido su industria y su comercio, fruto, sin duda, de su situación privilegiada, de la riqueza de la región circundante y del inteligente esfuerzo de cuantos laboran por su prosperidad, creer por un momento que las necesidades de esta capital, por lo que al consumo de agua se refiere, pueden quedar cubiertas por tiempo indefinido con los manantiales de una cuenca como la del Guadaira, que si bien es de una riqueza extraordinaria en relación con su superficie colectora, no tiene en modo alguno ni la capacidad ni la regularidad que exige el abastecimiento moderno de una ciudad de 200.000 habitantes.

Sevilla, con una población acaso superior a esa cifra, con su enorme radio, sus parques, sus jardines, y su creciente actividad industrial, no consumiría hoy menos de 300 litros por habitante y día, si el suministro no estuviera limitado hasta lo inverosímil, es decir, que si se dieran facilidades al vecindario para el gasto de agua, el consumo no bajaría de 40.000 metros cúbicos cada 24 horas, y si esto sucedería ahora, lógico es que no tarde el día en que Sevilla necesite una dotación de 60 ó 70.000 metros cúbicos.

¿Cabe obtener un volumen de tal importancia de la «Cuenca del Guadaira»? Los cálculos que más adelante desarrollaremos demuestran rotundamente que no. El rendimiento de esta cuenca en estiaje puede evaluarse por término medio en 25.800 metros cúbicos por día, de los cuales se destinan ahora al abastecimiento de Sevilla unos 15.000; pero aun cuando se pudiese

disponer de la totalidad del agua, nos quedaríamos muy debajo del volumen requerido, y en los años secos seguiría faltando el agua como ahora.

Es nuestra opinión, por lo tanto, que el Ayuntamiento de Sevilla está bien orientado al decidirse a instalar un abastecimiento independiente para usos públicos e industriales a base de agua del río Guadalquivir, si la calidad es aceptable, ya que el caudal, aun en los mayores estiajes, queda muy por encima de las exigencias del más amplio suministro, y reservar para los usos domésticos las de la «Cuenca del Guadaira», con lo que quedará asegurada la dotación de aguas potables para un largo período de tiempo.

Pero si la «Cuenca del Guadaira» resulta ya insuficiente para el abastecimiento de Sevilla, no es menos cierto que se ha podido hacer hasta ahora un suministro abundante, remediar la mayor parte de las deficiencias de que el público se ha venido quejando constantemente, y, sobre todo, evitar la grave situación actual, sin más que haber ido aumentando la dotación, ya que no en la medida en que aumentaban las necesidades del vecindario, que en los últimos años ha crecido en progresión rapidísima, al menos no en proporciones tan reducidas como la Empresa concesionaria ha venido haciéndolo, sin duda por estimar que sus compromisos quedaban así cumplidos. Esta entidad, que cuando instaló el abastecimiento de agua a presión por el año 1885, cubría ampliamente las necesidades de Sevilla con las aguas del Zacatín, La Judía y Fuensanta, de Alcalá, adquirió posteriormente otros manantiales, cediendo más bien a las exigencias del público, que a sanas medidas de previsión: así incorporó sucesivamente a su caudal, las aguas de Las Aceñas, Otivar y Clavinque, mas para la adquisición de otros manantiales, en época en que ya la falta de agua era

manifiesta, encontró las dificultades que surgen siempre en casos análogos.

En los últimos años, el aumento de consumo ha sido tan rápido que, en realidad, ni aun con la adquisición de todos los manantiales de alguna importancia que se conocen en la cuenca del Guadaira, hubiera resuelto la Empresa el problema del abastecimiento de Sevilla, y para mantener la dotación estrictamente necesaria le hubiera sido preciso recurrir a nuevas obras de alumbramiento. Como nada de esto se hizo cuando aun hubiera sido tiempo de remediar el mal, por fuerza tuvo que sobrevenir el conflicto, que resulta agravado ahora por la escasez de lluvias de estos últimos años. En el pasado estiaje es probable que los manantiales de la Empresa no rindieran arriba de 10.000 metros cúbicos por día, y si en la primavera actual no llueve copiosamente, es de temer que ese caudal quede mermado en el verano entrante. Compárese esta cifra con las que más arriba hemos dado como necesarias al consumo de Sevilla, y se comprenderá con cuanta razón clama el vecindario por una solución urgente.

Afortunadamente, no es sólo el agua de la Empresa la que surte a Sevilla. Existe otra traída independiente llamada de «Los Caños de Carmona», que el Ayuntamiento administra y cuya propiedad está repartida entre unas dos mil casas. Los manantiales afectos a esta distribución, que nacen en la margen derecha del Guadaira, en término de Alcalá, producían en el pasado mes de Febrero, según tuvimos ocasión de aforar en el acueducto, a la entrada de la población, unos 5.000 metros cúbicos cada 24 horas, cifra que se reducirá probablemente a 4.000 o menos en el próximo estiaje, si nuevas lluvias no enriquecen de aquí a entonces el manto subterráneo.

El agua con que contará pues, Sevilla, en el próximo estia-

je, no quedará reducida a los 10.000 metros cúbicos de la Empresa; hay que unir a este volumen los 4.000 metros cúbicos que, poco más o menos, darán los Caños de Carmona. Ahora bien: este último caudal está afectado de un coeficiente de aprovechamiento bastante reducido, no sólo por el mal estado de las tuberías que sirven para la distribución, en su mayor parte de barro, sino porque debido al deplorable sistema de reparto a caño libre, son muchísimas las casas en que el agua que cae en la taza de la fuente sigue casi constantemente su curso a la madrona sin aprovechamiento alguno. Por ambos motivos no sería extraño que el caudal verdaderamente aprovechado de la distribución de los Caños, no pasara de los dos tercios del que llega a Sevilla.

En más de una ocasión ha tratado la Empresa de incorporar a su distribución el agua de los Caños de Carmona, encargándose del suministro a los actuales usuarios y beneficiándose de este modo de la parte del caudal que ahora no se aprovecha; pero no se ha llegado a un acuerdo, porque la imposibilidad en que se encontraría la Empresa de garantizar un servicio normal no ha pasado por alto a dichos usuarios. Y hay que confesar que sus sospechas son fundadas. Hecha la fusión de las aguas, el abastecimiento general ganaría; pero los partícipes de los Caños de Carmona resultarían perjudicados, pues no disponiendo la Empresa concesionaria de agua bastante para mantener un servicio permanente, por fuerza habrían de correr la misma suerte que el resto de los abonados durante las forzosas interrupciones del suministro.

Para remediar en lo posible los efectos de la escasez de agua en el próximo estiaje, proponemos la incorporación al abastecimiento de Sevilla de los manantiales de Gandul, El Fontanal, Marchenilla y la Oromana, que por la poca distancia a que se

encuentran de la instalación elevadora de las Aceñas, se podrían reunir allí con relativa facilidad. La cesión o el arriendo de estas aguas podría gestionarlo el Ayuntamiento con carácter temporal, en tanto se lleva a cabo la instalación de agua del río, y con ello el caudal de estiaje resultaría aumentado en unos 2.400 metros cúbicos por día.

Necesario es también que la Empresa active la ampliación que tiene proyectada de la estación de bombas de Clavinque, que producirá probablemente un aumento de 1.200 metros cúbicos diarios.

Por último, ya que la premura de tiempo no permita intentarlo este año, debe prepararse para el venidero algún alumbramiento nuevo entre las Huertas de El Viso y el pago de Ronquera, del término de Carmona, punto este último donde las condiciones del terreno son favorables a la captación de aguas subterráneas, y que por su mucha distancia a los veneros ya explotados de la cuenca goza de completa independencia.

Estas son, en resumen, las conclusiones que se derivan del informe que a continuación desarrollamos. En el cuerpo del mismo hemos procurado, para no exagerar su extensión, ceñirnos a la parte relativa al aprovechamiento de las aguas subterráneas, sin detenernos en el estudio geológico de la zona visitada, a pesar del gran interés que desde este punto de vista presenta, más que lo estrictamente necesario para explicar ciertos fenómenos relacionados con la infiltración de las aguas pluviales y su circulación a través de las rocas del subsuelo.

I. Situación y límites de la «Cuenca del Guadaira».

La llanura que se extiende a Levante de la ciudad de Sevilla por la margen izquierda del Guadalquivir, está limitada, por el lado opuesto al río, por una línea de pequeñas alturas—

alcores, como se les designa en al país, usando una palabra árabe de las muchas que en Andalucía han quedado incorporadas al lenguaje vulgar—que comienzan a dibujarse al Norte de Carmona, y que con rumbo de NE. a SO., cruzan los términos de El Viso, Mairena y Alcalá, ensanchándose después, y desvaneciéndose cada vez más el relieve, hasta confundirse en Dos Hermanas con la dilatada planicie que con 40 o 50 metros de cota domina y bordea desde Sevilla hasta Los Palacios los terrenos bajos del estuario.

Esa faja de alcores presenta aspecto muy distinto según se la contemple desde el valle del Guadalquivir, o desde la Vega que se extiende a su espalda en dirección al Arahál. Vista desde Sevilla apenas se advierte su relieve, porque el terreno va ganando altura muy lentamente, sin pendientes pronunciadas, no siendo fácil señalar dónde termina la vega y comienzan las alturas. Cuando se pasa la curva de nivel de 60 metros, se acentúa la inclinación de la ladera y entonces es cuando, en realidad, se alcanza la base de esa cordillera en miniatura. Contribuye también a hacer menos aparente el tránsito de la vega a las lomas, la falta de arroyos o barrancos en el plano inclinado que sin la menor solución de continuidad forma la falda de los Alcores desde Carmona hasta las orillas del Guadaira, pues aparte de la profunda garganta que este río ha abierto al cruzar la faja de colinas, no interrumpe la monotonía de dicha falda la más insignificante quebrada que merezca el nombre de regajo.

Pero el aspecto de las alturas de Alcalá y Carmona cambia radicalmente en cuanto se cruza la divisoria de aguas. Un observador colocado en la hoya del Guadaira, las ve destacarse de las llanuras con relieve bien acentuado, siendo tan rápidas las pendientes por esta cara, que entre el trazado del ferrocarril

rril de Alcalá a Carmona y el de la carretera de Cádiz, distante a veces poco más de un kilómetro, existen unos 100 metros de desnivel. Este rasgo topográfico de la faja de alcores se acusa de modo manifiesto en el mapa que acompaña a este informe: en él se ve, efectivamente, lo muy separadas que quedan las curvas de nivel, cuya equidistancia es de 20 metros, en la vertiente Oeste, y lo próximas que aparecen en la opuesta, hasta el punto de dibujar, especialmente entre el Viso y Carmona, un verdadero acantilado.

La faja de alcores pierde altura de un modo constante y progresivo cuando se camina en dirección de Carmona a Dos Hermanas; pero al mismo tiempo gana en extensión transversal, llegando a convertirse el lomo divisorio en las proximidades de Alcalá en una amplia meseta. Entre Carmona y El Viso, donde las cotas se mantienen alrededor de los 200 metros, la anchura del lomo divisorio oscila entre 2 y 3 $\frac{1}{2}$ kilómetros. En Mairena tiene 4, y a mitad de distancia entre este pueblo y Alcalá, 7 $\frac{1}{2}$. Entre el Viso y Mairena, la cota máxima es de 172 metros, en tanto que entre Mairena y Alcalá, las mayores alturas no pasan de 152.

En Alcalá, la meseta en cuestión queda bruscamente interrumpida por el cauce del Guadaira, que corre a la cota 20, y aunque del otro lado del río vuelve a levantarse el terreno con los mismos caracteres topográficos y geológicos, alcanza ya menores alturas; por excepción pasan éstas de los 80 metros. Al Sur del Guadaira, la meseta también mide en algunos puntos hasta 7 $\frac{1}{2}$ kilómetros de anchura; pero sus límites se marcan cada vez menos a medida que se avanza por ese rumbo; al llegar al camino trocha de Sevilla a Utrera, el relieve desaparece casi por completo y las ondulaciones se pierden en las llanuras de Utrera y Dos Hermanas.

Tomando como límite meridional de la faja de alcores el referido camino trocha de Sevilla a Utrera, y como punto de arranque el pueblo de Carmona, la superficie en que el terreno presenta ondulaciones bien marcadas y donde la altitud media es sensiblemente superior a la de los llanos circundantes, mide 150 kilómetros cuadrados.

II. Constitución geológica. Naturaleza y distribución de los sedimentos.

La pequeña sierra de los Alcores, por su proximidad a Sevilla, el interés que le prestan los copiosos manantiales que surgen en sus bordes y la profusión de restos orgánicos que contienen las rocas de que está formada, ha sido paraje de estudio obligado para los geólogos que han recorrido la región andaluza, y acerca de su constitución se ha publicado no pocos trabajos y noticias. Los más detallados se deben a D. Salvador Calderón, quien en el año 1893 publicó en el tomo XXII de los *Anales de la Sociedad española de Historia Natural*, un estudio titulado «Movimientos pliocénicos y post-pliocénicos en el valle del Guadalquivir», y por el año 1895, en el *Boletín de la Comisión del mapa geológico de España*, otro titulado «Estructura del terreno terciario del Guadalquivir en la provincia de Sevilla».

En el segundo de los citados trabajos se describe la formación geológica de los Alcores, atribuyéndola en parte al mioceno y en parte al plioceno, y el autor hace notar que las rocas de ambos terrenos son difíciles de distinguir por la gran semejanza de su composición, de su textura y de sus caracteres externos de coloración, consistencia, alterabilidad, etc. Esta supuesta presencia del mioceno en los Alcores, y la situación recíproca de los tramos calizo y arcilloso del plioceno en las

dos orillas del Guadalquivir, las explicaba el Sr. Caldreón en el primero de los trabajos citados, por la acción combinada de elevaciones y hundimientos sucesivos de diversas dovelas de la corteza terrestre, que habían podido moverse con independencia merced a la separación establecida entre unas y otras por un sistema de fallas paralelas al río.

En los reconocimientos que hemos realizado con motivo del presente informe, en los parajes citados por el Sr. Calderón, no hemos observado fenómeno alguno para cuya explicación sea preciso recurrir a ese sistema de fallas, y por lo que se refiere a la existencia del mioceno en los Alcores, al menos en el espacio que media entre Carmona y Dos Hermanas, estamos en completo desacuerdo con el mencionado geólogo.

La composición por demás constante y normal del borde oriental de la meseta, en donde no se observa la menor solución de continuidad topográfica ni geológica, hace desechar la posibilidad de que por fallas, pliegues ni accidente alguno de origen tectónico, pueda asomar en toda aquella zona otro terreno inferior al que forma la base de la línea de alturas, que como puede comprobarse en infinidad de cortes naturales es un tramo de arcillas de indiscutible edad pliocena. Sin cambios notables en su composición ni en su aspecto externo, se extiende este nivel arcilloso por la vega del Guadaira hacia el E. y bajo la meseta de los Alcores hacia el O., como se ha podido comprobar en diversos sondeos practicados para el reconocimiento del manto acuífero subterráneo en Alcalá y Mairena. El mismo manto de arcillas pliocenas sirve probablemente de *substratum* a los depósitos cuaternarios del valle del Guadalquivir y se prolonga hasta la orilla derecha del río, donde forma las lomas del Aljarafe. Las diferencias de aspecto que se aprecian de unos lugares a otros, estriban casi ex-

clusivamente en la mayor o menor proporción de arena que contienen las arcillas: cuando muy puras, son untuosas al tacto, de coloración gris claro en la superficie y gris oscuro en los cortes recientes; por el contrario, cuando están muy cargadas de arena, como esta substancia comunica cierta permeabilidad a la masa y ha facilitado la entrada del agua y del aire, las sales de hierro se han sobreoxidado, y la coloración, probablemente, gris verdosa, en un principio, ha adquirido tintes amarillentos más o menos intensos.

Estos niveles inferiores del plioceno en que predomina la arcilla como elemento constitutivo de la roca, originan por su descomposición tierras vegetales muy fértiles, en donde las plantaciones se desarrollan con una lozanía que contrasta con el aspecto raquíto de la vegetación herbácea y arbustiva que crece sobre las calizas detríticas de la parte superior de la meseta.

Muy cerca de Carmona, en la cañada que baja hacia la vega, partiendo del kilómetro 503 de la carretera general, existe un corte natural de la formación pliocena producido por un regajo afluente del Arroyo de Palmilla, y ensanchado por las excavaciones hechas por los alfareros para extraer arcilla, donde se aprecia bien la sucesión de capas que integran este terreno. Los bancos inferiores, cuyos afloramientos están bastante alterados y en parte cubiertos por tierras rodadas de la parte superior de la ladera, son de naturaleza arcillosa, unas más cargadas de arenas y otras menos, lo que se reconoce fácilmente por la coloración alternativamente amarillenta y grisácea del suelo. A unos 20 metros por debajo del borde superior de la meseta es donde están abiertos los barreros, y en ellos se distinguen dos clases de roca; una, inferior, muy arcillosa y de coloración gris oscura; otra, a nivel más alto,

de tonos amarillentos y bastante cargada de arena. Sobre esta última descansan algunos bancos de arenas arcillosas, y encima, y coronando la meseta, las capas de calizas detríticas.

En El Viso se observa la misma sucesión de estratos: bajando del pueblo a la estación se pasa sucesivamente sobre las calizas arenosas superiores, en que aquél está edificado, sobre las arenas arcillosas amarillas y sobre los diversos horizontes de arcillas que forman la falda de la loma hasta su pie.

En el término de Alcalá, las capas de arcillas asoman en la base de los cerros del Toruño y de Gandul; y, en la margen izquierda del Guadaira, en el Molino Hundido; en la falda del cerro donde se halla la Hacienda de San Miguel; en la Vereda de Benajila, cerca de la Hacienda de Mateo Pablo, etc. En nuestro mapa se señala con una línea de puntos el contacto entre el nivel de arcillas y el de las calizas superiores a lo largo de la vertiente oriental de los Alcores, y raro es el sitio donde no se acusa de una manera manifiesta dicho contacto, bien por afloramientos de ambas rocas, bien por diferencias de pendiente, por la naturaleza del suelo laborable o por otro signo de más valor aún y sobre el cual hemos de insistir más adelante, cual es la emergencia de fuentecillas o al menos la presencia de pequeñas exudaciones.

En la vertiente occidental de los Alcores no es posible apreciar la línea de separación entre la formación arcillosa y la de calizas, si es que realmente esa separación existe allí de un modo bien marcado. Cuando partiendo de un punto cualquiera de la carretera de Alcalá a Carmona se camina en dirección al NO., se comienza recorriendo invariablemente un trayecto mayor o menor donde se suceden los afloramientos de la caliza detrítica, o donde los depósitos modernos y la na-

turalidad de la tierra vegetal acusa la presencia de esta roca a corta distancia de la superficie; mientras esto ocurre el terreno se conserva próximamente de nivel o descende muy poco. Cortes transversales análogos trazados entre Mairena y Alcalá encuentran algunas ondulaciones, que aunque de poca importancia, alejan de la carretera el punto donde comienza el terreno a descender francamente hacia la Vega del Guadalquivir y transforman, como antes se dijo, el lomo único que sirve de divisoria de aguas desde Carmona hasta el Viso, que es una meseta entrellana. A continuación de la zona donde afloran las rocas del horizonte superior del plioceno, se cruza otra formada por arcillas rojizas y limos arenosos amarillentos, producto estos últimos del arrastre por las aguas pluviales de los detritus de la caliza y de su ulterior depósito en zonas de menor pendiente superficial. Las arcillas rojas proceden generalmente de la descalcificación de limos formados a expensas de las calizas miocenas y pliocenas que tienen la composición de la detrítica de los Alcores, y se encuentran en otras muchas localidades de la provincia de Sevilla y aun de la de Cádiz, en análogas condiciones de yacimiento. Estos depósitos entran más bien en la categoría de derrubios que en la de verdaderas formaciones geológicas; pero no queremos dejar de citarlos, porque cubren gran parte de la vertiente occidental de los Alcores y ocultan el contacto entre los dos tramos del Plioceno, que acaso se observaría de no existir ese manto moderno de recubrimiento. En el llano de la Vega los limos y las arcillas rojas desaparecen o quedan reducidos a manchones aislados que descansan sobre los aluviones antiguos del Guadalquivir.

Del ligero bosquejo que antecede se deduce que son cuatro las formaciones geológicas cuya distribución, régimen y posi-

ción relativa interesa conocer desde el punto de vista de la circulación subterránea del agua en los Alcores: las arcillas y las calizas pliocenas, los depósitos diluviales del Guadalquivir, y los limos y arcillas rojas de época reciente. Ya hemos indicado el límite que por la parte de la vega del río Guadaira separa las formaciones arcillosa y caliza del Plioceno: el contacto entre las calizas de este terreno y los limos modernos también está indicado en nuestro mapa por una línea de puntos, y en cuanto a la separación de los limos arenosos y los aluviones antiguos del Guadalquivir, aunque no está señalada en dicho mapa, porque su delimitación exacta no tiene interés en este caso, podría representarse de un modo general por una línea distante un kilómetro de la anterior y trazada al N. de la misma.

Premuras de tiempo nos ha impedido reunir una numerosa colección de fósiles pliocenos en que poder fundamentar una opinión concreta respecto a la edad precisa de la formación de arcillas y de la caliza detrítica. ¿Corresponden estos dos niveles de rocas a sedimentaciones sucesivas del mar plioceno en todo el valle del Guadalquivir, o se trata, por el contrario, de episodios locales de una sedimentación irregular influida por las corrientes, por la variación de los fondos marinos y por la proximidad o lejanía de las costas? Cuestión es esta cuya resolución aclararía no pocas dudas respecto a la tectónica general del valle del Guadalquivir, entre otras, la de ese sistema de fallas a que recurre el Sr. Calderón para explicar la presencia de los horizontes arcillosos y calizo del Plioceno de Sevilla, a niveles topográficos distintos; pero sin que nuestras afirmaciones sean en este respecto categóricas, no dudamos en pronunciarnos a favor de una simultaneidad de formaciones de distinta naturaleza en zonas contiguas del antiguo

estuario del río, puesta a nuestro juicio de manifiesto en los mismos Alcores por la notable diferencia de espesor que de unos puntos a otros presentan allí tanto el tramo de las arcillas como el de las calizas superiores. Así vemos que en El Viso, por ejemplo, el contacto entre las arcillas y la caliza se halla a la cota 140, mientras que en Marchenilla y en Gandul ese contacto baja, por lo menos, a la cota 60, sin que entre un punto y otro las capas presenten inflexiones ni buzamientos a que poder atribuir ese gran desnivel en la línea de separación. Más elocuente aun es el cambio que se opera en la naturaleza de los sedimentos pliocenos entre Alcalá y Dos Hermanas. En la margen izquierda del Guadaira, forman las calizas un acantilado, no interrumpido entre la Oromana y el Molino de Balejos, en donde los lechos sucesivos, en posición casi horizontal, no varían ni por su espesor ni por su consistencia en toda la altura del corte; pues bien: esta formación apenas debe prolongarse un par de kilómetros en dirección a Dos Hermanas con la misma potencia y los mismos caracteres, pues en pozos abiertos a esa distancia del río para el abastecimiento de algunas fincas rústicas, se han cortado capas de arenas arcillosas y aun de arcillas, de las cuales no se observa el menor vestigio en las orillas del Guadaira. En Dos Hermanas vuelve la caliza a aumentar de potencia, hecho corroborado por la mayor importancia que allí adquieren los mantos acuíferos; pero sólo por corto trecho, pues apenas se pasa la población, vuelven a predominar las arcillas y los barros arenosos. ¿Sería necesario para explicar estos cambios de los sedimentos pliocenos en dirección de N. a S. recurrir a un sistema de fallas normales al valle del Guadalquivir, como para explicar los mismos cambios en sentido de E. a O. ideó el Sr. Calderón el sistema de fallas paralelas al río?

Las calizas de los Alcores son indiscutiblemente producto de la consolidación más o menos avanzada de materiales detríticos batidos por las olas y depositados en parajes donde la violencia de las corrientes no permitía la sedimentación de los légamos arcillosos, más tenues; pero esos detritus arenosos en su marcha submarina pudieron rellenar grandes depresiones formadas en los sedimentos arcillosos de un depósito anterior, desbordarlas después de rellenas y quedar, en definitiva, como hoy se presentan, bien extendidos en mantos de poco espesor sobre extensas superficies, o acumuladas en grandes masas, en áreas más reducidas, y limitados inferiormente por una superficie ondulada. Esta variabilidad en la naturaleza de las formaciones marinas costeras se comprueba en la mayor parte de los terrenos terciarios, y aun en nuestros días vemos formarse los depósitos de los grandes estuarios obedeciendo a reglas parecidas. ¿Qué tiene, pues, de extraño que los sedimentos pliocenos del valle del Guadalquivir no presenten una constancia de caracteres que no se observa sino en contados casos de formaciones pelágicas?

Como decíamos antes, los fósiles recogidos por nosotros en las arcillas y en las calizas no nos sirven para dilucidar la cuestión que debatimos. Los que proceden de los barreros de Carmona se hallan en perfecto estado de conservación demostrando que fueron sepultados por los légamos de las crecidas en los parajes mismos en que vivían; los encontrados en los bancos de las calizas y aun en los de las arenas arcillosas inmediatamente inferiores, se reducen a fragmentos de briozoarios, políperos y lamelibranquios, imposibles de reconocer por su exiguo tamaño. Las conchas de las ostras y los péctenes son las únicas que han resistido la acción del arrastre y conservado sus caracteres; pero precisamente estos moluscos,

característicos de los fondos de cascajo y de arena, viven raras veces en los fondos de fango y no son los más a propósito para establecer comparaciones entre sedimentos de diversa composición. Sólo algunas formas de poca ornamentación, como la *Pleuromectia cristata* y la *Ostrea colchlear*, tratándose del Plioceno, son típicas de los fondos arcillosos, y la coexistencia de sus restos en unas y otras tapas podría señalarse como argumento en favor de su coetaneidad; pero aun en estos casos, es aventurado deducir consecuencias en un sentido o en otro cuando se trata de depósitos superpuestos, y sólo cabe sacar la conclusión de que al mismo tiempo que se formaron los depósitos detríticos, pliocenos existían en la cuenca fondos de fango en donde dichos moluscos habitaban y se reproducían.

El *Pecten cristatus* se encuentra en todos los horizontes de la formación pliocena de los Alcores; como característicos del nivel de las arcillas hemos recogido: el *Arca diluvii*, la *Cytherea islandicoides*, la *Tellina donacina*, la *Ostrea Cochlear* y algunos *Dentalium*. En los bancos de la caliza, *Pecten Bolonensis*, *Pecten opercularis*, *Pecten maximus*, algunos equínidos y multitud de *Balanus*. Los del primer grupo parecen representar el Plioceno inferior o piso Plasenciense; los del segundo predominan en el Astiense o Plioceno medio; pero sería aventurado asegurar, por sólo el hallazgo de esas pocas especies, que los dos pisos estén representados en el área estudiada por nosotros.

Régimen de las capas y tectónica.—Esa indeterminación respecto a la edad precisa de las capas pliocenas de los Alcores, no es un obstáculo para los fines de este informe, porque lo verdaderamente interesante en el caso presente, es cuanto se relaciona con el régimen de las capas y la tectónica de la comarca: a estos dos puntos dedicaremos la atención que merecen.

Por lo que respecta al régimen de las capas después de cuanto acabamos de exponer sobre el probable modo de formación de los sedimentos pliocenos del valle del Guadalquivir, no es difícil llegar a la conclusión de que dichos sedimentos se componen de un conjunto de estratos en cuya parte superior predominan los materiales arenosos y las calizas detríticas y cuya base está constituida casi exclusivamente por depósitos de arcilla, pero sin constancia en cuanto a espesores absolutos, es decir, que unas veces se reduce el espesor de las arcillas y adquieren mayor desarrollo las calizas, y otras en cambio, predomina el segundo elemento sobre el primero. Los reconocimientos practicados por nosotros demuestran que la zona donde mayor desarrollo adquiere la caliza es la comprendida entre Mairena y el río Guadaira, no solamente por presentar mayor espesor, unos 60 metros, sino por cubrir también una superficie más extensa. Las arcillas predominan, en cambio, entre El Viso y Carmona, quedando el nivel de la caliza reducido a las últimas hiladas de la formación (15 a 20 metros).

Desde el punto de vista de la tectónica, que es el más interesante de todos, la línea de alcores ofrece una constancia notable, pues en conjunto, todas las capas de la formación pliocena están en posición horizontal, o cuando más, con un ligerísimo tendido hacia la vega de Sevilla. La falta de afloramientos en la vertiente occidental de la meseta impide averiguar con exactitud cuál sea esa buzamiento, si realmente existe, cosa que no nos atrevemos a asegurar, pues múltiples indicios, entre otros, la disposición de los estratos en la cortadura del Guadaira, hacen suponer que a poca distancia del borde oriental de la meseta, donde efectivamente se nota un buzamiento de 3° a 5° hacia el NO., vuelven a recobrar su posición horizontal y que en esta situación se extienden hacia

el Guadalquivir. Si ocurriera lo primero, es decir, si las capas pliocenas buzasen constantemente hacia el NO., la estructura de los Alcores estaría bien representada por el corte geológico de la figura 1.^a; en cambio, si las capas conservan su horizontalidad, como parece lo más probable, dicha estructura estaría mejor representada por el corte de la figura 2.^a

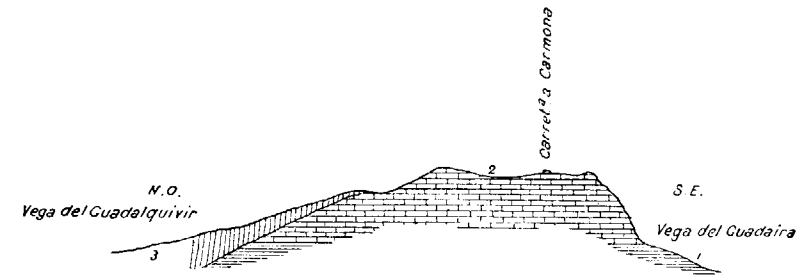


Fig. 1.^a—Corte transversal de la meseta de Mairena. (1.^a hipótesis). 1, arcillas pliocenas.— 2, caliza detrítica pliocena.—3, Cuaternario.

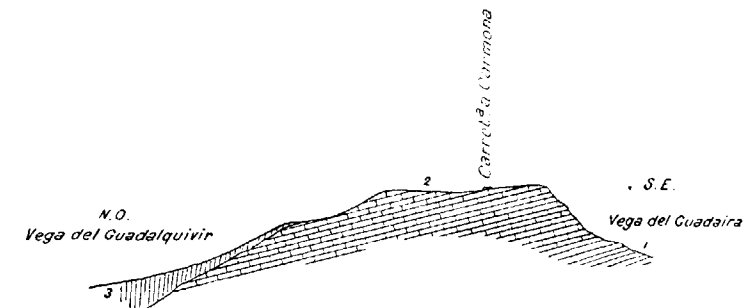


Fig. 2.^a—Corte transversal de la Meseta de Mairena. (2.^a hipótesis). 1, arcillas pliocenas.— 2, caliza detrítica pliocena.—3, Cuaternario.

Las diferencias de constitución que resultan de aceptar una interpretación u otra no son, en este caso, importantes, por la poca pendiente que han de tener las capas en el caso de no estar horizontales; pendiente que ha de ser inferior siempre a la natural de la ladera, como lo demuestran los cortes naturales que ofrece la formación en sus dos extremos. Mucho más interesante que la determinación de la pendiente exacta de los estratos sería averiguar si las capas de caliza detrítica

se prolongan en sentido transversal a la faja hasta la misma vega, porque, en este caso, llegaría a establecerse un contacto directo entre dicha caliza y los aluviones del Guadalquivir, como se indica en la figura 3.^a y, como a continuación veremos,

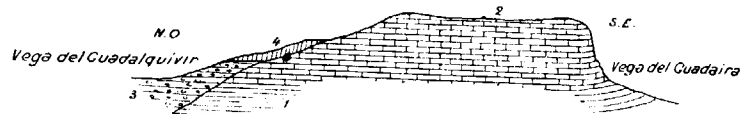


Fig. 3.^a—Corte transversal de la Meseta de Mairena, (3.^a hipótesis). 1, arcillas pliocenas.—2, caliza detrítica pliocena.—3, aluviones del Guadalquivir.—4, recubrimientos modernos.

esta situación recíproca de ambos terrenos podría ejercer una influencia decisiva en la marcha subterránea de las aguas.

Si, por el contrario, la composición de las capas de caliza se modifica, como parece probable, al menos, en ciertos puntos de la faja, y a la formación detrítica sucede un depósito arcilloso, es decir, si la verdadera estructura del terreno es la que se representa en la figura 4.^a, entonces las aguas infiltra-

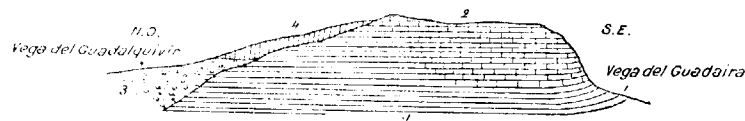


Fig. 4.^a—Corte transversal de la meseta de Mairena, (4.^a hipótesis). 1, arcillas pliocenas.—2, caliza detrítica pliocena.—3, aluviones del Guadalquivir.—4, recubrimientos modernos.

das no llegarían nunca a ponerse en contacto con los aluviones de la vega, y su marcha subterránea no podría nunca ser normal a la dirección de la línea de alcores.

Como ya dijimos anteriormente, los depósitos de limos arenosos y de arcillas rojas, impiden estudiar la verdadera naturaleza del terreno y la situación relativa de los diversos grupos de estratos en la vertiente NO. de la meseta, y para llegar al conocimiento exacto de todos estos extremos interesantísimos, sería preciso hacer algunos sondeos a lo largo del borde de la vega.

III. Superficie receptora de la cuenca de aguas subterráneas. Capas permeables e impermeables.

Las pequeñas divergencias entre las hipótesis que cabe formular respecto a la constitución geológica de la faja de alcores, que hemos tratado de poner de manifiesto en los cortes de las figuras 3.^a y 4.^a, no influyen en el desarrollo de los fenómenos relacionados con la infiltración de las aguas pluviales, porque ésta únicamente tiene lugar en la zona de afloramientos de la caliza detrítica, o donde este terreno, eminentemente permeable, está cubierto por detritus arenosos, producto de la descomposición de la caliza misma, que aumentan más aún el poder absorbente de las capas superficiales, y la zona en cuestión permanece invariable cualquiera que sea la hipótesis que en definitiva se adopte como más verosímil.

Del grado de porosidad de las calizas detríticas que tanto abundan en los terrenos terciarios del valle del Guadalquivir, da una idea la densidad misma de estas rocas, que rara vez llega a 2, y como los elementos de que están integradas, en su inmensa mayoría, menudos fragmentos de conchas, tienen densidad superior a 2,5, el peso del metro cúbico sólo corresponde al de un volumen de 750 litros, lo que quiere decir que existe en la masa un vacío de 250, o un 25 por 100 del volumen total.

Por medidas directas, es decir, comparando los pesos de un trozo de roca, primero en estado normal, recién extraído de la cantera, y después de saturado de agua, se ha hallado que algunas calizas toscas del Mioceno de Cádiz, tienen una permeabilidad de 20 por 100, y como la pliocena de los Alcores, tiene aun menos compacidad, no sería difícil llegar en ella a la cifra de 25 por 100 antes mencionada.

La permeabilidad de las rocas guarda relación con su porosidad; pero influye mucho en la mayor o menor rapidez con que den paso a las aguas, el poder de retención; esto es, la capacidad mayor o menor que tengan para conservar el grado de humedad que se designa con el nombre de agua de cantera. Experiencias hechas por Delesse sobre treinta y tantas muestras de roca, han puesto de manifiesto la gran diferencia que puede existir entre el agua de cantera y la de saturación. Entre las rocas estudiadas por dicho geólogo no existe ninguna que sea exactamente comparable a la caliza de los Alcores; pero cita una caliza tosca algo margosa, de características algo semejantes, aunque de menor porosidad, cuyas aguas de cantera y saturación están representadas por el 23, 25 y el 30, 29 por 100 de su peso, de modo que una roca de esta índole que contenga en el subsuelo, por encima del nivel hidrostático, estrictamente el agua de cantera, puede absorber aun el 7,04 por 100 de su peso de agua, y si su densidad es 2, 140,8 litros por metros cúbico, o sea, el 14 por 100. Algunas rocas, cita dicho autor, cuya permeabilidad, así medida, llegan al 21, 36 por 100.

El poder de retención del agua de cantera perjudica a la infiltración a profundidad, porque en las inmediaciones de la superficie, las rocas pierden parte de esa agua por evaporación, para recuperarla de nuevo al ser atravesadas por una lluvia posterior, restándola a la alimentación de las zonas profundas. Desde este punto de vista, la caliza de los Alcores presenta la ventaja de estar en parte cubierta por depósitos arenosos, que tienen muy poco poder de retención y dejan pasar las aguas de lluvia con rapidez a las capas inferiores, atenuando las pérdidas por evaporación.

Como terreno permeable capaz de absorber las aguas

llovedizas en proporción apreciable, sólo contamos en los Alcores con la caliza detrítica de la parte alta del Plioceno. Las arcillas inferiores son absolutamente impermeables, y los depósitos de légamos arenosos, travertinos y arcillas rojas que cubren las vertientes NO. de la meseta, aun cuando algo permeables, no podrían suministrar al manto subterráneo grandes cantidades de agua aun en el supuesto de que descansaran directamente sobre la caliza detrítica, lo que ya hemos visto que es bastante dudoso.

Circunscribiéndonos, pues, a la caliza superior del Plioceno, debemos admitir que la superficie de recepción de la cuenca de aguas subterráneas del Guadaira no es otra que la que corresponde a la zona de afloramientos de dicha roca, delimitada en nuestro mapa por una línea de puntos. Esta superficie mide 119 kilómetros cuadrados, de los cuales corresponden: 40 a Carmona, 7 a El Viso, 23 a Mairena, 38 a Alcalá en la margen derecha del Guadaira, y 21 al mismo término en la margen izquierda del río. De esos 119 kilómetros cuadrados es preciso descontar una faja de terreno de un kilómetro de anchura, por lo menos, a lo largo del contacto de la caliza con las arcillas inferiores, en la vertiente que mira a la vega del Guadaira, porque como el manto de calizas tiene un contorno muy sinuoso, y la pendiente del terreno en la parte superior de la ladera, que es la que corresponde a las capas permeables, muy rápida, las aguas que se infiltran en el borde de la meseta, efectúan rápidamente su recorrido subterráneo aflorando a la superficie muy repartidas y en condiciones que haría extremadamente difícil y costosa su captación. Sin dar origen a fuentes de importancia, las aguas que circulan por esta parte del manto mantienen constantemente húmeda la línea de contacto de la caliza con las arcillas, y en las épocas lluviosas las

exudaciones aumentan en proporciones tales, que el terreno inmediato a dicha línea de contacto se convierte en un lodazal que no se consolida hasta que la evaporación consume todo el agua procedente de las infiltraciones en la región superior, que resulta por este motivo perdida para el manto subterráneo. Como la longitud de la faja de terreno permeable son 30 kilómetros, otros tantos kilómetros cuadrados debemos descontar de la superficie cubierta por las calizas pliocenas para obtener el área verdadera de la cuenca receptora, que queda así reducida a 89 kilómetros cuadrados, de los cuales corresponden 73 a la margen derecha del Guadaira y 16 a la izquierda.

Cuántía de las lluvias en la cuenca.—Veamos ahora en qué forma y en qué medida recibe esta cuenca las lluvias que alimentan su manto subterráneo. La pequeña sierra de los Alcores está sometida al régimen de precipitaciones atmosféricas general de Andalucía, o mejor dicho, del valle del Guadalquivir —el régimen de lluvias de las provincias mediterráneas difiere algo de la Andalucía occidental— caracterizado por una sequía absoluta durante los meses de Junio, Julio y Agosto, y una concentración de las lluvias en los meses de Noviembre a Marzo. Esta desigualdad en la repartición de la lluvia tiene entre otros inconvenientes, el de exagerar las irregularidades de su distribución en años sucesivos, pues como hay tres meses en que la compensación es imposible, porque no cae ni una gota de agua, y otros dos, Mayo y Septiembre, en que tampoco llueve la generalidad de los años, basta con que se acentúe en un sentido o en otro el clima de los siete meses restantes, para que en la altura anual de lluvia, pequeña siempre, se produzcan diferencias tan enormes como acusan una mínima de 167,81 m/m y una máxima de 997,63 m/m, observadas

ambas en Sevilla; la primera en el año agronómico de 1872-73, la segunda en el de 1894-95.

Y no deben estimarse estas divergencias como casos excepcionales: alturas de lluvia inferiores a 400 m/m se registran en Sevilla a razón de una cada cuatro años, y superiores a 600 m/m a razón de una cada tres años, y aun cuando a primera vista esa diferencia no es exagerada, representa, como en seguida veremos, precisamente la altura de la lámina de agua que por término medio alimenta el manto subterráneo.

En el estado de observaciones que tenemos a la vista, de donde hemos tomado los datos que anteceden, y que comprende un período de 53 años, figuran cuatro años con una altura de lluvia comprendida entre 200 y 300 m/m; en diez, las lluvias han estado comprendidas entre 300 y 400 m/m; en ocho años, entre 400 y 500; en once, entre 500 y 600; en once, entre 600 y 700; en cuatro, entre 700 y 800, y en tres, la altura ha sido superior a 900. La lluvia media en los 53 años ha sido 530 m/m.

Confrontando estos datos con los del Observatorio central meteorológico, correspondientes a los últimos años y a las estaciones pluviométricas de Carmona y Utrera, se observan algunas diferencias, explicables por la irregularidad que caracteriza a las lluvias en toda aquella comarca, especialmente en los días de aguaceros tormentosos, que con frecuencia descargan con intensidad inusitada en un lugar, en tanto que a tres o cuatro kilómetros de distancia la precipitación no pasa de una ligera llovizna.

Prescindiendo de los años en que la lluvia excede de 800 milímetros, y de aquéllos en que no llega a 200, porque unos y otros son casos extraordinarios, debemos tener presente la

posible variabilidad de las lluvias entre 200 y 800 m/m al estudiar el régimen del manto subterráneo en la cuenca del Guadaira.

Infiltración. Pérdidas posteriores.

El agua llovida se reparte entre el escurrimiento superficial, que va a engrosar el caudal de los arroyos y los ríos, la evaporación y la infiltración. El escurrimiento superficial es en el caso que estudiamos tan insignificante, que podemos prescindir de sus efectos. Si alguna vez llega a adquirir importancia, es precisamente en los años muy lluviosos, cuando las pérdidas son menos de temer. No hallándose el terreno demasiado saturado, cosa que rara vez ocurre, ni aun durante los grandes aguaceros corre el agua por la superficie, y sólo por los caminos se ven algunos charcos y regueros que no tardan en desaparecer por infiltración en cuanto decrece la intensidad de la lluvia.

Del mismo modo, tampoco tiene importancia la evaporación operada durante el brevísimo lapso de tiempo que tarda el agua en penetrar en el suelo; despreciaremos igualmente esta causa de pérdidas, y admitiremos que toda el agua llovida penetra en el terreno, siquiera no haga más que impregnar ligeramente la capa superficial. A partir de este momento es cuando en realidad empiezan a actuar las dos causas de pérdida verdaderamente importante: la evaporación que se produce en el mismo terreno al contacto del aire y la absorción por parte de los vegetales, las cuales no cesan de actuar hasta que el agua en su marcha descendente se aleja de la superficie.

Evaporación.

No es fácil fijar con precisión la cuantía de las pérdidas que la evaporación origina en las capas superiores del terreno, porque varían entre límites muy extensos con la composición de dichas capas, su estado físico, el clima de la localidad y la repartición de las lluvias. Además, cuando las capas superiores se desecan totalmente tras un período de buen tiempo, la capilaridad hace subir el líquido de otras más profundas y lo expone de nuevo a las influencias atmosféricas.

En Andalucía, donde los períodos de lluvia alternan generalmente con otros de cielo despejado en que dominan los vientos del Norte, muy secos, la evaporación es bastante activa. Según datos de la Granja Agrícola experimental de Jerez, la evaporación media en invierno es de 3,1 m/m, y en estas condiciones se comprende que las lluvias de menos de 10 m/m de altura, por fuerza, se han de perder casi totalmente para los efectos de la infiltración a profundidad, sino vienen precedidas o seguidas de otras más importantes, siendo de notar que en esa forma caen anualmente en Andalucía entre 150 y 250 m/m.

Cuando una capa de arena suelta cubre la superficie de terreno, como la infiltración a profundidad se facilita, las pérdidas por evaporación se aminoran sobremano, según lo ha demostrado experimentalmente Dessoliers, quien ha fijado el valor de la evaporación en terrenos de diversa naturaleza. Según este experimentador, en el tiempo en que una superficie líquida pierde por evaporación 97 m/m, la tierra vegetal sólo pierde 55; 49, la arena fina, 23, la arena gruesa; y 21, la grava menuda. En la cuenca que estudiamos la capa de tierra vegetal es muy variable, predominando en unos puntos

la arena gruesa, como en las proximidades de Mairena, en otros la arena fina, y en otros la tierra vegetal más o menos arcillosa, pero de gran capilaridad siempre. No es posible aplicar ningún coeficiente de los hallados por Dessoliers a la cuenca entera y preciso será tomar uno intermedio teniendo en cuenta el valor de los tres primeros que se refieren a terrenos similares a los que nos ocupan. El valor 35 nos parece razonable como promedio, y si suponemos que la evaporación en las capas superiores del terreno está en la relación de 35 a 97 con la de una superficie líquida, y admitimos, además, que sus efectos se dejan sentir con toda su intensidad durante seis meses del período lluvioso —en los meses de verano, la evaporación, aunque más energética, no resta agua al subuuelo, por la profundidad a que se encuentra entonces la superficie libre del manto— tendremos que las pérdidas por el concepto que analizamos equivalen a una altura de lluvia de:

$$3,1 \times 180 \frac{35}{97} = 190,9 \text{ m/m}$$

Vemos que esta cifra es del orden de la que representa las lluvias inferiores a 10 m/m, y por lo tanto, es lógico suponer que el resultado a que hemos llegado no es muy diferente del valor real.

Absorción de los vegetales.

Las plantas absorben el agua en las proximidades de la superficie generalmente. Los cereales y leguminosas no pasan con sus raíces 0,50 m., pero algunas especies arbóreas, especialmente los pinos, llegan con algunas raíces hasta 5 y 6 metros de profundidad. Dadas las clases de cultivos que más extendidas están en la cuenca del Guadaira, el olivo y los cereales,

no puede estimarse nunca inferior a 10 m/m la altura de lluvia que los vegetales consumen, y como término medio no es exagerado adoptar la cifra de 150 m/m (1).

Resulta en definitiva, que las pérdidas por evaporación y absorción de los vegetales podemos estimarlas alrededor de 341 m/m en años normales. Una y otra pueden aumentar y disminuir entre ciertos límites; los efectos de la evaporación pueden disminuir en años muy húmedos, así como la pérdida por absorción de los vegetales en años muy secos; pero en años de precipitaciones medias no se alejará mucho la pérdida total de la cifra que indicamos como probable.

Volumen que pasa a alimentar el manto subterráneo.

Si de los 530 m/m que representan la altura media de la lluvia en la comarca, descontamos los 341 m/m en que evaluamos las pérdidas por distintos conceptos, nos quedará, por término medio, como altura de lámina útil, 189 m/m, o sea, un 36 por 100 del agua precipitada.

En los años de 600 m/m de lluvia, conservando la misma cifra para las pérdidas, tendríamos una lámina útil de 259 milímetros, equivalente al 43 por 100 del agua caída sobre la cuenca. En años de 700 m/m, las mismas cifras se convertirían en 359 m/m y 51 por 100; en los de 800, en 459 y 57 por 100, y en los de 900 m/m, en 559 y 62 por 100.

En cambio, en los años de 400 m/m de lluvia, el aprovechamiento quedaría reducido al de una lámina de 59 m/m, y baja-

(1) Véase a este propósito el trabajo publicado en el Bol. del Ins. Geol. Tomo 42, sobre «Alumbramientos de aguas subterráneas en las manchas terciarias que rodean la bahía de Cádiz».

ría a cero en los años en que lloviese menos de 341 m/m, caso que se ha presentado siete veces en los 53 años a que alcanzan los datos que tenemos a la vista.

Claro es que en cuencas de relativa importancia como la que estamos estudiando, y más tratándose de rocas de masa permeable, el caudal de los manantiales no pueden reducirse a cero por el mero hecho de que un año llueva menos que lo que suman las pérdidas; es preciso que se sucedan unos cuantos años de fuertes sequías para que esto ocurra, porque el depósito subterráneo hace de volante o regulador, y así como en los años de lluvias abundantes no producen las fuentes una cantidad de agua proporcionada a la altura de lluvias, sino bastante menor, del mismo modo, en los años secos se suma al caudal correspondiente a la lluvia del año una parte del volumen almacenado en las grietas, poros e intersticios de la masa de rocas situada de ordinario bajo el nivel hidrostático.

Sin embargo, esos efectos de regulación no se notan en gran escala en la cuenca del Guadaira, porque el depósito subterráneo se vacía con extremada facilidad, y en los años lluviosos no se crean grandes reservas. Influyen en esta manera de ser de los manantiales del Guadaira, la constitución geológica de la cuenca de alimentación y la profunda cortadura del río, que provoca una rápida descarga del manto subterráneo cuando [sube muy por encima del nivel hidrostático normal. Insistiremos sobre este punto, cuando terminemos los cálculos que estamos desarrollando para fijar la capacidad productora de la cuenca.

Si multiplicamos la altura de lluvia útil, que en los años de lluvia media hemos visto que puede estimarse en 189 m/m, por la superficie receptora de la cuenca, que hemos apreciado en 89 kilómetros cuadrados, tendremos el volumen de agua infil-

trado a profundidad y puesto al abrigo de las influencias atmosféricas y otras causas de pérdidas; obtenemos así 16.821.000 metros cúbicos. Este volumen busca salida por los desagües naturales del manto, y en su marcha subterránea hacia esos desagües es cuando puede recogerse mediante obras de captación adecuada. Ahora bien: ¿qué parte de este volumen es prácticamente aprovechable en condiciones económicas? Podemos asegurar que en ningún caso se puede recoger más del 70 por 100, y hasta es difícil alcanzar esta cifra. Los terrenos que limitan lateralmente el manto subterráneo absorben sin cesar agua de la acumulada en éste y producen una descarga más o menos energética, según se encuentren, o no, a su vez, en contacto con otros terrenos permeables; las galerías de captación, y entre ellas podemos incluir las grietas y canalizos subterráneos por donde circulan las aguas ya encauzadas que más tarde afluyen a los manantiales, no pueden ejercer un avenamiento eficaz de todo el terreno comprendido entre unas y otras, y una parte del agua se escapa muy repartida, sin que haya medio práctico de recogerla, y por último, en los momentos en que mayor es la afluencia de aguas de las grandes lluvias, el nivel hidrostático sube considerablemente y las obras de captación mejor proyectadas resultan ineficaces para reconcentrar y encauzar las múltiples corrientes secundarias que en estos casos se establecen.

Si admitimos como posible el límite máximo de aprovechamiento señalado, es decir, el 70 por 100 del agua infiltrada a profundidad, el volumen disponible en un año de lluvia media sería 11.774.700 metros cúbicos. También varía extraordinariamente de una cuenca a otra la forma en que el agua almacenada en los mantos afluye a los desagües naturales o artificiales en el transcurso del tiempo. De ahí que unos ma-

nantiales tengan una producción casi constante en las diversas épocas del año y otros presenten máximos y mínimos muy distantes del gasto medio. En el caso del Guadaira esas divergencias tienen gran tendencia a producirse por los motivos que luego explicaremos y que son en esencia los mismos que influyen en las variaciones bruscas del rendimiento en relación con la lluvia. Los datos que hemos recogido sobre el terreno, algunos de los cuales expondremos más adelante, nos inducen a suponer que la distribución del caudal medio disponible en el año ha de repartirse cuando menos en la relación de 3 a 2 entre el mayor caudal de invierno y el más pequeño de estiaje. El volumen total disponible que se vió era de 11.774.700 metros cúbicos corresponde a un gasto medio de 32.260 metros cúbicos; pero si lo repartimos en la proporción antedicha entre invierno y verano, se tendrá un gasto máximo de 38.700 metros cúbicos y un mínimo de 25.800. Este es, a nuestro juicio, el *volumen medio de estiaje* que puede producir la cuenca del Guadaira.

Si de la lluvia media de la cuenca pasamos a una de 700 milímetros, los caudales respectivos medio, de invierno y de estiaje, serían: 64.000, 76.800 y 51.200 metros cúbicos, conservando la relación de 3 a 2 antes indicada; pero es muy probable que en los años lluviosos la divergencia se acentúe más, y llegue a alcanzarse la relación de 3 a 1, en cuyo caso el gasto de estiaje sólo sería de 32.000 metros cúbicos.

En cambio, con lluvia de 400 m/m, de las cuales se registran una cada cuatro años, sólo se recogería un volumen de 5.251.000 metros cúbicos, y aun cuando en un año tan escaso de agua el aprovechamiento podría llegar al 90 por 100, el volumen medio diario no pasaría de 12.930 metros cúbicos. En este caso, aunque la relación entre los caudales de invierno

y verano quedaría reducida a la mitad de la normal, excusado es decir lo que ocurriría en los años de las mínimas de 167,8 y 231 m/m.

Claro es que caudales tan exigüos como corresponderían a esas lluvias mínimas, no se llegan a registrar nunca, gracias al poder regulador de la cuenca; pero los cálculos que anteceden dan una idea de la influencia que los años secos pueden ejercer en la producción.

Hasta aquí lo que la teoría prevé; pasemos al examen de datos experimentales. A la amabilidad de D. Joaquín Rodríguez Garay, gerente de The Seville Waterworks C.º Ltd., concesionaria del abastecimiento de aguas, debemos unos estados de rendimientos de los manantiales del Zacatín y de la Cañada de Fuensanta, dos de los grupos más importantes de la cuenca, que muestran claramente la relación entre la lluvia anual y los caudales de estiaje. El primer estado, correspondiente a los manantiales de Zacatín, comprende los datos de 35 años (1887 a 1922, inclusive) y en él se registran caudales tan diversos como el de 12.500 metros cúbicos por día correspondiente al año 1892 y el de 650 metros cúbicos en el año 1907. Es en extremo curioso, ver cómo influyen los años secos en el caudal de estos manantiales, y al mismo tiempo el efecto regulador que produce la cuenca, sobre todo en los años que siguen a los de precipitaciones abundantes. Merece la pena fijar la atención sobre algunos casos concretos. En el año meteorológico 1891-92 cayeron en Sevilla 928 m/m de lluvia; en el verano de 1892 el gasto de los citados manantiales se elevó a 12.500 metros cúbicos desde 2.600 que había sido en el verano anterior, y aunque en el año siguiente sólo llovió 465 m/m, el caudal se mantuvo en 4.000 metros cúbicos por día y volvió a 2.600 en el verano de 1894 a pesar de haber caído en ese in-

vierno sólo 569 m/m. Es decir, que una parte considerable de los 4.000 metros cúbicos del estiaje de 1893, acaso 1.500, procedían del agua almacenada en la cuenca en el invierno de 1892. En 1894-95, volvió a llover copiosamente, y el gasto de estiaje se elevó a 11.000 metros cúbicos, durando el efecto regulador de esta lluvia, la mayor registrada en Sevilla, tres años, en que los manantiales del Zacatín pasaron sucesivamente por gastos de 9.500, 7.300 y 2.800 antes de volver a un caudal de, aproximadamente, 2.000 metros cúbicos. En 1901, desciende el gasto a un mínimo de 1.000 metros cúbicos, con lluvia de 501 m/m, comprendida entre dos mayores, una de 642 y otra de 676, con gastos de unos 1.400 metros cúbicos. Esto parece demostrar que a una lluvia de 500 m/m corresponde en los manantiales del Zacatín un rendimiento ligeramente inferior a 1.000 metros cúbicos, como caudal de estiaje; suposición que resulta además comprobada por el hecho de que en 1908 una lluvia de 549 m/m produjo 900 metros cúbicos, después de reponer algo la cuenca, pues en el año que le precedió había llovido 514 m/m. Las máximas pluviales ocurridas con posterioridad (792 m/m el año 1916-17) no han elevado el caudal de los manantiales del Zacatín por encima de los 400 metros cúbicos, lo que podría tener su explicación en los alumbramientos posteriores de la Cañada de Otívar y de Clavinque, que situados sobre la meseta de Alcalá y Mairena, en lo que puede conceptuarse cabecera de la cuenca de los manantiales del Guadaira, han podido producir depresiones del nivel hidrostático, evitando nuevos desbordamientos del manto y cambiando a la vez la dirección de algunas corrientes subterráneas que antes iban a engrosar el caudal de las fuentes de la margen derecha del río.

Desde el año 1897 hasta la fecha, los manantiales del

Zacatín han tenido un gasto de estiaje de 1790 metros cúbicos por día, para una altura de lluvia media de 517 m/m. Como ha habido una mínima de 232 m/m y sin embargo, el caudal aquel verano fué de 650 metros cúbicos, hay que suponer que en este año la producción íntegra fué suministrada por las reservas de la cuenca, que debieron quedar bastante agotadas por cuanto el año siguiente el caudal sólo subió a 750 metros cúbicos a pesar de haber llovido 630 m/m, lluvia que en condiciones normales hubiera producido alrededor de 2.000 metros cúbicos.

Conviene hacer notar que sin grandes variaciones en el nivel hidrostático, que por lo visto son difíciles de producir y mantener en esta cuenca, su gran superficie (73 kilómetros cuadrados), es más que suficiente para mantener la producción media por espacio de un año aun en el supuesto de que la lluvia faltara totalmente, y ello explica el que los manantiales no lleguen a secarse en años en que la lluvia es inferior a 300 m/m. Claro es que aunque las pérdidas se han evaluado en una lámina de 341 m/m de altura, los años en que cae menor cantidad de agua no toda se pierde, pues siempre se produce alguna lluvia intensa que hace pasar parte del agua rápidamente por las capas superficiales sin evaporarse ni ser absorbida por los vegetales; pero aun así, se comprende que el tanto por ciento aprovechado tiene que ser bajísimo y que son las reservas de la cuenca las que en esos casos suministran la casi totalidad de la producción.

Para formarnos una idea de la medida en que la cuenca puede subvenir a la falta de lluvia, supongamos que el nivel hidrostático se encuentra a la altura normal, es decir, ocupando la superficie en que se equilibran las entradas de agua correspondientes a la lluvia media, las salidas producidas por los

avenamientos naturales y artificiales, la acción de la capilaridad, la resistencia opuesta al paso de los filetes líquidos, etc. Si las entradas faltan o escasean, el nivel hidrostático bajará por fuerza hasta encontrar una nueva posición de equilibrio, que en último término sería el plano horizontal trazado al nivel de la fuente más baja, momento en que cesaría todo desagüe natural. En este descenso las rocas están saturadas de agua, pierden poco a poco el sobrante hasta quedar sólo con el agua de cantera, y si admitimos para la caliza de los Alcores un 20 por 100 de permeabilidad, cada metro cúbico de roca podría desprenderse de 200 litros de agua, y para un descenso de nivel hidrostático de un metro, cada kilómetro cuadrado de cuenca podría producir 200.000 metros cúbicos; y los 73 kilómetros de la margen derecha del Guadaira, admitiendo igual área para la zona de recepción que para la superficie libre de manto, 14.600.000 metros cúbicos, volumen ligeramente inferior, como se ve, al que se almacena en la cuenca en un año de lluvia media.

El estado de producción de los alumbramientos de la Cañada de Fuensanta nos conduce a resultados análogos, con la diferencia de que como la zona de alimentación de esta cuenca y la superficie libre del manto son mucho menores, el poder regulador es más escaso, y así resultó que en el año 1907 en que sólo llovió 232 m/m, el gasto se redujo a cero y fué preciso la reposición durante tres años, en que cayeron sucesivamente 630, 514 y 529 m/m de lluvia para que el caudal de estiaje se elevara de nuevo, primero a 100 metros cúbicos y después a 550, 1.000, etc.

Resulta de lo expuesto hasta aquí, en relación con las producciones medias y mínimas de la cuenca del Guadaira, que se trata de una zona de manantiales en que las alternativas

de años secos y lluviosos ejercen una influencia acentuadísima, con gran desventaja para su utilización en servicios de abastecimiento de aguas, ya que de nada sirve que la media se mantenga entre límites aceptables en relación con las necesidades del suministro, si después se producen periódicamente mínimas en que el rendimiento queda muy por debajo del consumo.

Causas que influyen en la irregularidad de la cuenca.

Anunciamos antes el propósito de tratar de este punto y volvemos sobre él porque tiene un interés primordial. Como ya indicamos, aunque de pasada, la causa principal de la irregularidad de la cuenca radica en la gran altura que sobre el nivel del río tiene el plano base del manto subterráneo y la brusca depresión que en el nivel hidrostático establece la profunda garganta del Guadaira. La primera circunstancia es causa de que aun los más insignificantes manantiales constituyan para el manto subterráneo lo que pudiéramos llamar desagües de fondo, es decir, que tras una sequía indefinidamente prolongada, el manto subterráneo acabaría por vaciarse totalmente. Todavía estos desagües de fondo serían menos enérgicos si se encontraran muy poco por debajo de la superficie libre del nivel hidrostático, mas como a lo largo del cauce del Guadaira y transversalmente al mismo, las mesetas caen muy rápidamente y con ellas dicho nivel, las aguas tienen una marcada tendencia a caminar en ese sentido y lo hacen con excesiva rapidez a poco que se eleve su nivel en el interior de la tierra, por aumentar también muy rápidamente la pendiente media de la superficie libre que es la que en definitiva ejerce influencia preponderante en la velocidad de los filetes líquidos.

Otra cosa ocurriría si la capa impermeable que soporta al manto acuífero estuviese en toda la faja de alcores al nivel del lecho del Guadaira, pues entonces las aguas no se encontrarían tan solicitadas a caminar en dirección hacia el río y sería posible, provocando desagües en las mesetas de Alcalá y Mairena, hacer retroceder las corrientes, provocar grandes depresiones en el manto que vendría a llenarse en los años muy lluviosos, y contener la rápida descarga de los depósitos subterráneos. Algo de esto, aunque en pequeña escala, porque las condiciones geológicas del terreno no son propicias, se ha conseguido con los agotamientos del pozo de Clavinque, cuyo nivel ha descendido en ocasiones de un modo progresivo, lo cual demostraba que la extracción superaba al rendimiento normal, pero que ha vuelto a reponerse a raíz de períodos lluviosos hasta alcanzar de nuevo su nivel ordinario.

Es evidente que mientras más nos alejamos del cauce del río, en dirección a Carmona, en mejores condiciones nos encontraremos para intentar agotamientos mecánicos que sin repercutir de modo sensible en los manantiales del Guadaira, produzcan un aumento en la producción y al mismo tiempo una regularización de la cuenca; por eso, creemos debe fijarse la atención en la zona que se extiende desde El Viso del Alcor hacia el Norte, especialmente en la faja de terreno que va desde el pueblo hasta las Huertas de Ronquera, donde las aguas no parece que tengan tendencia a caminar hacia el Guadaira, toda vez que los agotamientos de Clavinque no han ejercido, hasta ahora al menos, influencia en los pozos de aquel pago.

IV. Volumen que podría explotarse con nuevos alumbramientos.

Para calcular siquiera de un modo aproximado el agua que aún cabría alumbrar mediante obras nuevas en la cuenca

del Guadaira, vamos a hacer, ante todo, un cómputo de los aprovechamientos actuales. Empecemos por los manantiales y alumbramientos de la margen derecha.

1.º Caños de Carmona.—Las aguas que en Sevilla se designan con este nombre, sin duda porque el acueducto que las conduce hasta la ciudad entraba en el antiguo recinto amurallado por la puerta de Carmona, proceden de tres copiosos manantiales llamados «Santa Lucía», «El Molino de la Mina» y «San Sebastián». La galería colectora, de estas aguas, traza paralelamente al río y en su margen derecha, comienza a la altura del Molino de las Aceñas, donde recoge el manantial llamado de Santa Lucía; en el mismo pueblo de Alcalá, el Del Molino de la Mina; y en la cañada del Zacatín el llamado de San Sebastián. Como todos los manantiales de la cuenca, éstos tienen un régimen muy variable, pudiendo considerarse el caudal que actualmente producen, y que un aforo hecho en el acueducto, cerca de Sevilla, nos ha permitido evaluar en 5.000 metros cúbicos diarios, como rendimiento medio de estiaje.

La conducción de los caños de Carmona pertenece al Municipio de Sevilla, siendo partícipes los dueños de unas 2.000 fincas, que llevan aneja la propiedad del agua. Esta se reparte a caño libre, y como unidades de medida rigen los múltiples y fracciones de la *Paja*, cuya equivalencia con el metro cúbico no se ha podido establecer de una manera categórica, porque lo que generalmente se estipulaba en los antiguos contratos de venta era el diámetro del tubo de la toma, sin mencionar como si la cosa no tuviese importancia, la altura de carga o presión en la boca de salida. De estas aguas de los caños de Carmona se surte el Alcázar, cuyos jardines consumen un importante caudal.

Entre otras muchas particularidades interesantes que po-

dríamos citar de la conducción de los Caños, y que omitimos por no alargar excesivamente este informe, merece especial mención el manantial llamado del Molino de la Mina. Brotan sus aguas por la junta de separación de dos capas de la caliza pliocena, a profundidad de unos 12 metros, en el centro del pueblo de Alcalá; pero lo verdaderamente curioso de este nacimiento es que como la galería colectora pasa a cuatro o cinco metros por debajo del punto de emergencia, alguien pensó en utilizar este pequeño salto, y en efecto, fué construído allí un molino harinero que ha estado trabajando hasta que hace pocos años la Empresa de aguas, que a la sazón administraba el acueducto, adquirió su propiedad con objeto de eliminar uno de tantos peligros de contaminación como amenazan a las aguas de los Caños a su paso bajo las calles de Alcalá de Guadaira; pero aun se conservan el canal, el cubo, los asientos de las piedras y la habitación labrada en la roca viva donde almacenaba los granos y la harina el molinero, promotor de esta pequeña industria subterránea.

El acueducto que conduce a Sevilla las aguas de los Caños de Carmona deja bastante que desear desde el punto de vista de su conservación, y por ello menudean las filtraciones y los salideros, que por la naturaleza arenosa del terreno que atraviesa no se manifiestan a la superficie, dificultándose su localización. Pero donde las pérdidas alcanzan proporciones elevadas es en el interior de Sevilla por el mal estado en que se encuentra la mayor parte de la red de distribución, hecha con ateneros de barro, a lo que hay que unir las deficiencias inherentes al sistema de distribución a caño libre, que es la causa principal de que una parte importante del caudal que llega a la ciudad quede sin aplicación, pues rara es la casa donde se recoge y utiliza por completo la dotación, siendo,

por el contrario, lo más frecuente que el agua corra de la tubería a la fuente y de la fuente a la alcantarilla durante horas enteras sin que nadie le aproveche.

Varias veces se ha intentado llegar a un acuerdo entre el Municipio y la Empresa abastecedora para que ésta se encargase del suministro a los usuarios del agua de los Caños entregándole en cambio todo el caudal de los manantiales afectos a esta conducción, y hasta tenemos entendido que llegó a realizarse alguna tentativa que no dió resultado por las protestas de los propietarios, cosa muy explicable si se tiene en cuenta que la falta de agua impone en Sevilla un suministro muy limitado, y esa limitación habrían de padecerla también los usuarios de las aguas de los Caños de Carmona desde el momento en que toda la distribución se hiciera por una misma red.

2.º Manantiales del Zacatín.—Se designan con este nombre el conjunto de una importante fuente y cuatro pequeños veneros, que brotan como a un kilómetro al N. de Alcalá y se reúnen en una galería colectora que afluye a la Central del Adufe. Las variaciones de gastos de estos manantiales se aprecia con sólo echar una ojeada al gráfico que insertamos al final de este informe. Resalta, ante todo, la enorme diferencia entre los máximos observados con anterioridad al año 1898 (10.000, 12.500 y 11.000 metros cúbicos) y los mínimos de 1907, 1908 y 1909 (650, 750 y 700 metros cúbicos). La media de estos últimos representa tan sólo el 6,2 por 100 de la media de los máximos. La relación de los mínimos con la media de máximos posteriores a 1898 es más elevada: equivale al 18 por 100; pero también demuestra la poca constancia de este grupo de manantiales. El caudal medio de estiaje puede calcularse en unos 2.000 metros cúbicos.

3.º Manantial de las Aceñas.—Hállase situada la Huerta de las Aceñas en la orilla derecha del Guadaira, a kilómetro y medio al S. de Alcalá. Las aguas son captadas por una serie de galerías filtrantes cuyas longitudes exactas se desconoce, por no ser practicables, y que se desarrollan por la ladera, paralelamente al cauce del río. El caudal medio de estiaje oscila alrededor de 2.330 metros cúbicos, sin variaciones tan grandes como los manantiales del Zacatín. Como éstos, pertenecen a la Empresa concesionaria del abastecimiento de Sevilla, y las aguas se elevan de un pozo depósito inmediato al río y son conducidas por una tubería a la Central del Adufe.

4.º Galería y pozo de la cañada de Otívar.—En la parte superior de la Meseta que domina a Alcalá, a la izquierda de la carretera que conduce a Carmona, se halla la Huerta del Mohino, donde radica el principal de estos alumbramientos. Consta de una galería de trazado sinuoso, comprendida dentro del perímetro de la citada huerta, que produce unos 500 metros cúbicos por día, en estiaje. Las aguas son conducidas por su propio peso durante más de un kilómetro por una galería arrumbada al O. NO. y a continuación penetran en una tubería de hierro de 35 centímetros de diámetro, que empalma con la general de conducción a Sevilla a unos 1.300 metros cuadrados del origen de ésta.

Cerca de la Cruz de Otívar se ha abierto también un pozo del que se elevan aguas mecánicamente y se inyectan en la tubería que conduce las de la Huerta del Mohino. La producción de este pozo, del que sólo se extrae agua en verano, puede estimarse en 200 metros cúbicos cada veinticuatro horas.

5.º Pozo de Clavinque.—En la hermosa posesión de San Antonio de Clavinque, del término de Mairena del Alcor, adquirida en 1905 por la Empresa concesionaria del abasteci-

to de Sevilla, ha perforado esta entidad un pozo de 10,78 ros de profundidad, continuándolo por un sondeo de 20 ros hasta el encuentro de la arcilla pliocena, a 30,78 metros a superficie. La boca del pozo, referida al plano de comparade nuestro mapa, se encuentra a la cota 126, de modo el manto de arcilla aparece allí a la cota 115 próximamente, eir, a 95 metros sobre el cauce del Guadaira. Esto demuestras grandes variaciones de espesor que de un punto a otro la cuenca presentan las calizas superiores, toda vez que las as más altas de la formación se encuentran aproximadamente al mismo nivel en Clavinque que en Alcalá.

Las bombas instaladas en este pozo aspiran el agua dentro agujero del sondeo, a 9 metros bajo el nivel normal del agua, e ordinariamente se mantiene a 8 metros de la superficie. producción oscila alrededor de 2.800 metros cúbicos, y la presión producida en el manto después de una larga temporada de sequía se vuelve a rellenar en los períodos de lluvia uientes, lo que comprueba que por este medio se consigue regular en cierta medida el rendimiento del manto subterráneo. ro por los datos adquiridos en los años que lleva este pozo en plotación, hay fundamento para suponer que dicha regulación puede hacerse en mayor escala, y a este fin la Empresa ocupa actualmente de ampliar la instalación de bombas, ontando otras nuevas en un pozo que se propone abrir esta rimavera en las inmediaciones del antiguo, para extraer en verano próximo un caudal constante de 4.000 metros cúbicos.

Las aguas del pozo de Clavinque son conducidas por una ubería de hierro a la Huerta del Mohino, donde se unen con as alumbradas en la cañada de Otívar, y todas reunidas enran en la tubería general de conducción a Sevilla, sin pasar

por el depósito de origen, en el punto que anteriormente se indicó.

6. Manantial de Gandul.—Aparte de los manantiales descritos, afectos hoy al abastecimiento de Sevilla, existen otros varios, también en la margen derecha del Guadaira, que por su relativa importancia debemos consignar. Figura en primer término el que nace junto al Palacio de Gandul, cerca del kilómetro 5 de la carretera de Alcalá a Morón. No es un manantial natural, sino producto de un alumbramiento hecho por medio de una galería filtrante de cerca de un kilómetro de longitud, que recoge las aguas infiltradas en el extremo SE. de la meseta de Alcalá. Su área de alimentación es difícil de deslindar de la de los manantiales que a continuación describiremos, y como ellos parece tener su origen en los cerros de la Andrada, Toruño y la Lapa.

El manantial de Gandul fué aforado por nosotros en el pasado mes de Febrero, en el canal de descarga de uno de los molinos que se mueven con estas aguas y obtuvimos un gasto de 10 litros por segundo; pero de la exactitud de este aforo no podemos responder porque el régimen del manantial sufre grandes alteraciones con la marcha del primer molino, que al cerrar o abrir la compuerta de entrada, según el trabajo que han de desarrollar las piedras, provoca subidas y descensos de nivel en el interior de la galería colectora y en un canalillo que cruza los jardines de la posesión, resultando que unas veces llega al canal de descarga menos agua de la que el manantial produce, y otras, en cambio, se une al gasto propio de la galería el agua remansada. En el momento del aforo, según nos dijeron, pasaba por el canal el agua normal y así parecía demostrarlo, en efecto, el bajo nivel que conservaba el líquido en la galería; pero como se trata de un caudal pe-

queño, cualquier variación accidental podría falsear el resultado.

Como la mayor parte de las obras de captación situadas a orillas del Guadaira, está trazada la galería de Gandul a bastante altura sobre la vega, sin que el aspecto del terreno haga sospechar que a ese nivel exista una capa impermeable que haya impuesto la cota del plano inferior del alumbramiento; y sin embargo, no es de creer que todas esas obras se hayan proyectado tan altas con el exclusivo objeto de disponer de un salto en que aprovechar el agua para fuerza motriz, y parece más lógico que en todas ellas se haya tomado como punto de partida algunas fuentecillas o cuando menos exudaciones abundantes, que por el mero hecho de aparecer a esos niveles tan altos delatarían la existencia de un cambio notable en la constitución íntima del terreno. En todo caso, es indudable que las obras en cuestión tendrían mejor rendimiento y régimen más regular si estuviesen situadas a más bajo nivel.

7.º Manantiales del Fontanal.—Forman este grupo tres pequeños manantiales que brotan en un reducido espacio de terreno, a la izquierda del kilómetro 3 de la carretera de Morón. Las aguas, después de accionar un molino, cruzan reunidas la carretera por una alcantarilla inmediata a la casilla de peones camineros y aun se aprovechan en otro salto de cinco metros antes de reunirse con las del manantial que a continuación describiremos. El caudal aforado por nosotros, aunque con poca exactitud por la irregularidad del cauce, fué de unos seis litros por segundo.

8.º Manantial de Marchenilla.—Nace este manantial en una grieta de la caliza, en el mismo borde de la carretera de Morón, a su izquierda. Producía el día de nuestra visita unos

seis litros por segundo, como los manantiales del grupo anterior. Estas aguas, después de reunirse con las del Fontanal a la derecha de la carretera, accionan varios molinos, y en el canal que une a dos de ellos pudimos hacer un aforo bastante preciso, que nos dió un gasto de 11,82 litros por segundo. Según manifestaciones de los molineros que trabajan con estas aguas, el caudal de los manantiales del Fontanal no disminuye apenas en estiajes normales; pero el de Marchenilla llega a reducirse a la mitad del que producía el día que lo aforamos, debido a la extracción de agua para riegos que hacen en varias huertas enclavadas en su cuenca de alimentación.

9.º Manantial de Alcaudete.—A la derecha de la carretera que une a El Viso del Alcor con Carmona, cerca del kilómetro 515, brota este pequeño manantial, parte de cuyas aguas proceden del borde de la cuenca que eliminamos al hacer el cómputo de la superficie receptora. Su caudal es pequeño, dos o tres litros por segundo, y se reduce bastante en estiaje.

10. Fuentes del Viso y Mairena.—En el mismo caso que el anterior se encuentran las fuentes de que se abastecen los pueblos de El Viso y Mairena, pues todas ellas nacen en el borde de la meseta y tienen su zona de alimentación en la faja marginal de la cuenca grande. El gasto de todas estas fuentes reunidas apenas llega en estiaje a cinco litros por segundo, lo que hacen un total de 432 metros cúbicos diarios.

11. Pozos particulares.—Además de todas estas fuentes conocidas y cuyos caudales se pueden apreciar con alguna aproximación, existen repartidos por la cuenca un crecido número de pozos de donde en verano se elevan grandes cantidades de agua para el riego de huertas. Imposible de todo punto es formarse una idea del caudal que de este modo se extrae del manto subterráneo, pues parte del agua empleada

en los riegos vuelve a infiltrarse en el terreno y tiene varios aprovechamientos sucesivos; pero quizá no cometamos gran error si computamos todos esos aprovechamientos por un caudal constante durante invierno y verano de 1.000 metros cúbicos diarios.

12. Abastecimiento de aguas de Carmona.—Ignoramos la cantidad de agua con que cuenta esta población para su abastecimiento, que sea cual fuere, también procede de la cuenca que estamos estudiando; y si calculamos el gasto con relación a la importancia de dicha ciudad, no es posible prever para el porvenir menos de 1.000 metros cúbicos diarios.

En resumen: los 12 aprovechamientos que quedan anotados suponen un caudal de estiaje *ya utilizado*, de 17.900 metros cúbicos, descontando las aguas de Alcaudete, Mairena y El Viso. De este caudal corresponden: 5.000 metros cúbicos al Ayuntamiento de Sevilla; 9.000 a la Empresa; 1.900 a manantiales particulares; 1.000 a pozos diversos esparcidos por la cuenca y 1.000 a Carmona.

Pasemos ahora a ocuparnos de la cuenca de la margen izquierda del río. Varios son los manantiales que en esta parte afloran, y que describiremos sucintamente.

1.º Alumbramiento de la Cañada de Fuensanta.—Las aguas de esta cañada son captadas por una galería de tres ramas, de donde pasan a un depósito de 4.500 metros cúbicos de capacidad y de allí por una tubería en sifón a la central de Adufe. Las aguas de los antiguos manantiales de Fuensanta son conducidas por medio de una galería de 500 metros al depósito del manantial de la Judía. El rendimiento de este grupo en distintos años puede apreciarse en el gráfico que se incluye al final de este informe. Ha presentado un máximo el año 1896 de 3.800 metros cúbicos y se ha reducido a cero en los estiajes

de 1907, 1908 y 1909. El caudal medio de verano en los últimos veinticinco años ha sido 920 metros cúbicos.

2.º Manantial de la Judía.—Brotta este manantial a 200 metros del río y a unos 500 aguas arriba de la central de El Adufe; las aguas entran primero en un depósito regulador de 1.500 metros cúbicos de capacidad, y cruzan después el río por una tubería en sifón. En unión de los de Fuensanta produce un caudal de unos 1.000 metros cúbicos diarios.

3.º Galería de la Retama.—Las aguas que se alumbran en esta galería se destinan al abastecimiento de Alcalá de Guadaira. El caudal medio de estiaje se calcula en unos 600 metros cúbicos por día.

4.º Manantial de la Oromana.—Procede de una galería filtrante cuyo desarrollo desconocemos, abierta a bastante altura sobre el lecho del río, frente al Molino de las Aceñas. En el mes de Febrero último producía unos seis litros por segundo, o sean 518 metros cúbicos por día, y este caudal parece que se conserva bastante constante en estiaje.

5.º Manantial de San Roque.—Este pequeño manantial brota cerca del puente de la carretera de Utrera, en la finca de su nombre, y produce unos 100 metros cúbicos por día. Actualmente se emplean sus aguas en el riego de huertas, lo mismo que las de la Oromana.

Estos diversos manantiales de la margen izquierda del río producen, como se ve, en estiaje 3.138 metros cúbicos, de los cuales corresponden: 1.920 a la Empresa de Sevilla; 600 a la misma Empresa, pero que están destinados al abastecimiento de Alcalá; y 618 a manantiales particulares.

En la cuenca de la margen izquierda del Guadaira también hay algunos pozos cuyas aguas se destinan al regadío, aunque en menor proporción que en la de la margen derecha; con el

caudal que de ellos se extrae podemos calcular que los actuales aprovechamientos de la margen izquierda del río se elevan a unos 3.700 metros cúbicos por día en estiajes medios.

Si comparamos estos resultados experimentales con los teóricos que hemos obtenido basándonos en la altura de lluvia, en la superficie de la cuenca receptora, en las pérdidas probables, etc., obtenemos los resultados siguientes:

	Metros cúbicos
Rendimiento posible de la cuenca en estiajes medios	25.800
Aprovechamiento actual en estiajes medios.	21.600
Caudal que puede alumbrarse con nuevas obras.	4.200

Los 25.800 metros cúbicos calculados como producción de estiaje en los años de lluvia media, corresponden a 290 metros cúbicos por día y kilómetro cuadrado de superficie receptora y como la cuenca de la margen izquierda del río mide 16 kilómetros, le corresponde una producción de 4.700 metros cúbicos por día, superior en 1.000 metros a la actual. En la margen derecha, el aumento podrá ser más importante, de unos 3.200 metros cúbicos, y allí es, por consiguiente, donde deben proyectarse de preferencia obras nuevas, tanto más cuanto que en la margen izquierda, a causa de las diversas redes de captación ya establecidas, no se podría aumentar el rendimiento sin anular la mayor parte de los trabajos hechos, con el consiguiente trastorno de todas las instalaciones.

En la margen derecha, los 3.200 metros cúbicos en que cabría aumentar la producción de estiaje corresponden, a razón de 290 metros cúbicos por día y kilómetro cuadrado, a 11 kilómetros de cuenca. Ahora bien: si descontamos de la producción actual unos 1.500 metros cúbicos que corresponderían a los aprovechamientos del término de Carmona, quedan

16.400 metros cúbicos, que es el caudal que pertenece a 56 kilómetros de cuenca útil, aproximadamente lo que mide la superficie pertenecientes a los términos de Alcalá y Mairena después de descontar la faja marginal de la cuenca; así resulta que la parte de los Alcores que está explotada en la margen derecha del Guadaira termina en el término de El Viso. A partir de allí y en dirección al N. es donde deben intentarse, por lo tanto, algunos alumbramientos nuevos, en tanto que la parte de cuenca comprendida entre la linde de términos de Mairena y El Viso y el río Guadaira debe considerarse como explotada, y difícilmente se podría intentar un aprovechamiento nuevo en aquella zona sin que se resintieran los existentes.

V. Regularización de la cuenca.

Lo que sí podría conseguirse aumentando los desagües mecánicos en la meseta de Mairena y Alcalá, es regularizar bastante el régimen de la cuenca, pues manteniendo el nivel hidrostático más bajo en dicha meseta de lo que normalmente está, no se escaparía por los manantiales en los años lluviosos tanta agua como ahora, y el resultado de esos desagües sería comparable al que se obtendría cerrando las bocas de descarga, cosa irrealizable en la práctica.

En ese sentido, la ampliación que proyecta en Clavique la Empresa abastecedora de Sevilla nos parece muy acertada, no sólo porque se logrará aumentar el caudal de estiaje, sino porque a su vez repercutirá en el régimen de la cuenca, aumentando su regularidad. Tienen el inconveniente, obras de esta índole, de aumentar los gastos de explotación, con el coste de la elevación mecánica; pero hoy, con la facilidad de montar en todas partes bombas eléctricas —precisamente la cuenca del

Guadaira está cruzada por varias líneas de alta tensión—, los servicios se simplifican, y el aumento de gasto resulta con creces compensando con la mayor venta de agua en los meses de estiaje y en los años secos. Seguramente la Empresa de aguas habrá pensado seriamente en sustituir por material moderno esas máquinas de balancín de la central del Adufe, que sólo se ven ya dibujadas en algún que otro viejo tratado de Física, y en modificar los servicios de elevación que tiene repartidos por la cuenca, que en las condiciones en que ahora se efectúan tienen que resultar por fuerza costosísimos.

VI. Cantidad de aguas de que hoy se dispone en Sevilla.

Supongamos el caso de un estiaje en año de lluvia media de 350 m/m y veamos el agua de que dispone actualmente Sevilla.

	Metros cúbicos
Manantiales de la Empresa en la margen derecha del río según el cálculo anteriormente hecho	7.800
Idem en la margen izquierda	1.920
Total	9.720

A ese volumen hay que agregar el de los Caños de Carmona, es decir, 5.000 metros cúbicos, con lo que resulta un total de 14.720 metros cúbicos. Pero si se tiene en cuenta la pérdida y el desperdicio de aguas tan enorme que afecta al caudal de los Caños, acaso los habitantes de Sevilla no aprovechen un volumen superior a 12.500 metros cúbicos en estiajes medios, lo que representa una dotación de 62,5 litros por habitante y día, de ellos 48,6 correspondientes a la Empresa.

Pero no debe perderse de vista que estos caudales se refieren a años de lluvia media, y que en los muy escasos de agua

el volumen total disponible se reduce considerablemente, hasta el punto de que ha habido años en que tenemos motivos para presumir que aquél no ha pasado de 11.000 metros cúbicos entre todos los manantiales reunidos: los de la Empresa y los de los Caños de Carmona.

VII. Aumento de dotación que podría conseguirse en el próximo estiaje.

Por la proximidad de los manantiales de Gandul, El Fontanal, Marchenilla y la Oromana a la estación elevadora de las Aceñas, sería obra fácil y poco costosa conducir hasta este punto las aguas de todos esos manantiales, y conseguir de este modo un aumento indiscutible de 2.400 metros cúbicos por día, que unidos a los 1.200 que producirá la ampliación de Clavinque, dan un total de 3.600 metros cúbicos diarios. Este volumen, que representa más del 30 por 100 del agua de que dispondrá este verano la Empresa si continuase el *statu quo*, aminoraría de un modo muy marcado las consecuencias de la escasez de agua, y por el poco coste que las obras en sí representan, vale la pena que el Ayuntamiento piense seriamente en su ejecución.

VIII. La cuenca del Guadaira en relación con las necesidades de Sevilla.

Pero ni el aprovechamiento de los manantiales de Gandul, Marchenilla y Oromana, ni los alumbramientos que proponemos en el pago de Ronquera, servirán por sí solos para conjurar de una manera definitiva la falta de agua en Sevilla. Los cálculos que quedan atrás lo demuestran sin dejar lugar

a dudas; Sevilla, con sus 200.000 habitantes y el desarrollo industrial que con tanta rapidez aumenta, tiene que pensar en proveerse de aguas en otra cuenca de mayor capacidad y de régimen más regular que la del Guadaira. Creer que con 20 ni con 30.000 metros cúbicos se va a resolver el problema del abastecimiento, es desconocer lo que en este punto exigen las necesidades modernas, no sólo de orden industrial, sino de índole privada, sin contar con los servicios públicos, que en poblaciones como Sevilla, de gran radio y con multitud de paseos, parques y jardines, consumen un verdadero río de agua. Sin contar con el probable aumento de población, sólo con sus 200.000 almas de hoy, y con una dotación mezquina que no pasará de 150 litros por habitante y día, llegaríamos a una cifra de consumo superior a la producción media de la cuenca del Guadaira. Y, volvemos a repetirlo, lo de menos en estos casos es la producción media, porque cuando se suceden dos o tres años escasos de agua y el rendimiento de los manantiales se reduce en un 10, un 20, acaso un 30 por 100, no hay depósitos que basten a hacer frente al consumo y llega por fuerza el momento de tener que implantar los servicios limitados, que es el método de anular de un golpe todas las ventajas de un abastecimiento, pues desde el momento en que la circulación del agua se interrumpe, las instalaciones de higiene quedan anuladas, la red de alcantarillado se convierte en un centro de infección, y el servicio de incendios queda imposibilitado de actuar en caso necesario.

Hemos podido comprobar durante nuestra estancia en Sevilla lo generalizada que está allí la creencia de que la cuenca del Guadaira tiene capacidad suficiente para subvenir a todas las necesidades de la población, creencia que se debe, sin duda, a la riqueza aparente de la mayoría de los pozos repartidos por

la cuenca; pero no hay que olvidar: 1.º Que el que un pozo sea o no abundante no se puede determinar provocando agotamientos parciales con medios deficientes; 2.º Que no se puede calcular como caudal permanente, el resultado de uno de esos agotamientos aislados; y 3.º Que si con el agotamiento de un pozo se influencia el nivel hidrostático en la zona de alimentación de otro manantial o de otro pozo, el caudal que en el primero se afore no significa en modo alguno aumento de producción de la cuenca. En cualquiera de las cañadas donde brotan manantiales en el valle del Guadaira, se podría abrir pozos abundantísimos sin que por ello se obtuviera una gota más de agua de la cuenca, pues toda la que de ellos se extrajese se restaría a los manantiales ya explotados. Los alumbramientos de la Cañada de Otívar y los agotamientos de Clavique seguramente han influido en todos los manantiales de la margen derecha del río; y el caudal de agua no debe haber aumentado gran cosa en conjunto, si bien se habrá obtenido una regularidad mayor en el rendimiento de la cuenca.

Otro punto que conviene tener presente, es que Sevilla no podrá nunca disponer de toda el agua de la cuenca del Guadaira; Alcalá, Mairena, El Viso y Carmona tendrán que abastecerse siempre de esa cuenca y aun los aprovechamientos para regadíos serán muy difíciles de extirpar radicalmente. Así pues, de la cantidad de metros cúbicos disponibles en años de lluvia media, hay que descontar al menos 3.000 de los cuales no se podrá disponer nunca, y, en definitiva, Sevilla no podrá contar con más de 21 o 22.000 metros cúbicos de esta procedencia.

Compárese esa cifra que, no nos cansamos de repetir, puede reducirse considerablemente en años secos, con la necesaria

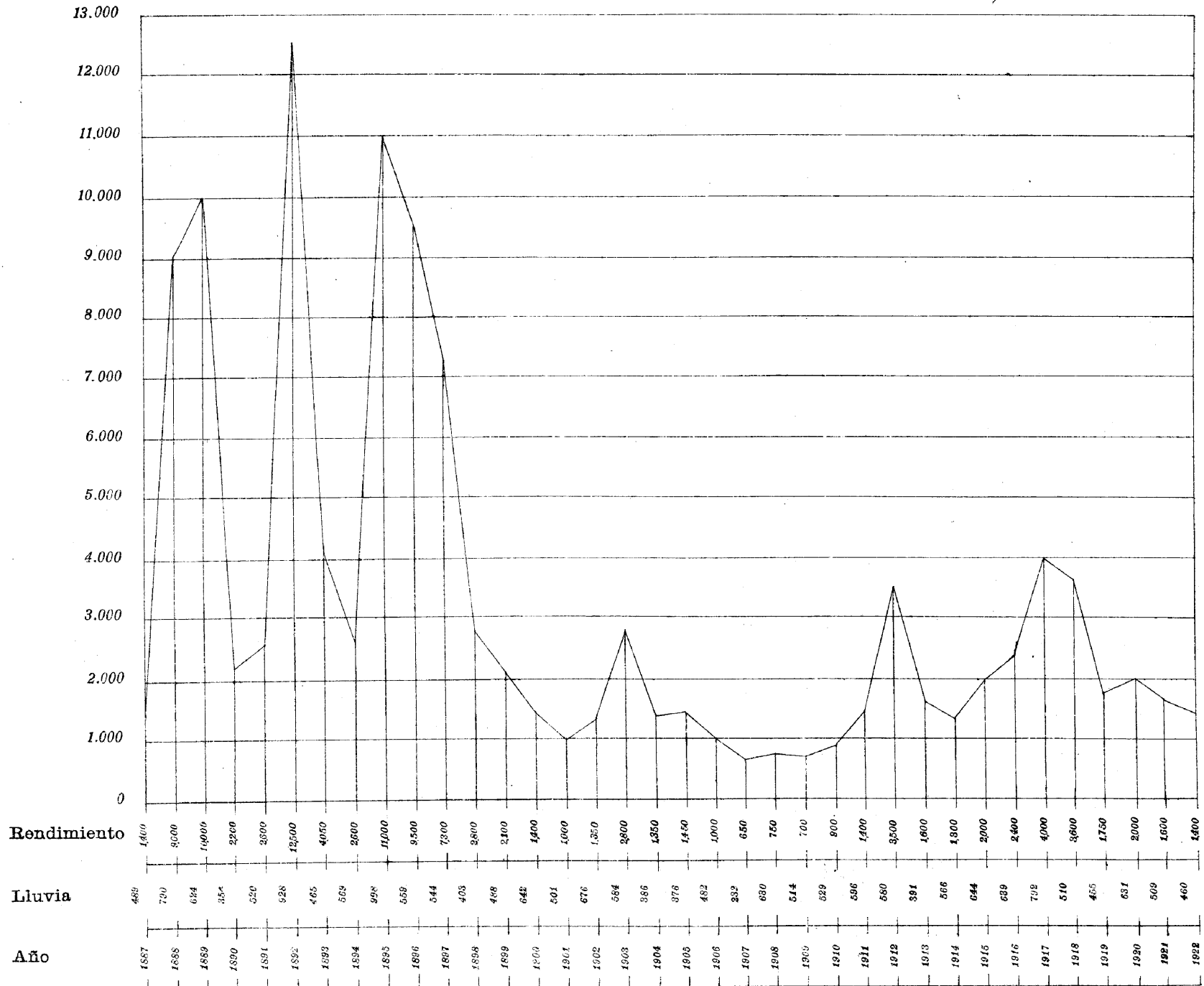
para atender cumplidamente las exigencias modernas de una población de 200.000 almas, en que el consumo por habitante, y más en países cálidos, no debe bajar de 300 a 400 litros diarios, y nos formaremos una idea clara de lo que representa la cuenca del Guadaira, en relación con las necesidades de Sevilla. Quitense trabas al consumo de agua, y Sevilla gastará dentro de poco tiempo 60 ó 70.000 metros cúbicos diarios; es decir, de tres a cuatro veces lo que puede producir en años normales la referida cuenca.

Pero si no hay que buscar en la cuenca del Guadaira la solución del problema de abastecimiento de aguas de Sevilla, no es menos cierto que con sus disponibilidades se hubiera podido mantener hasta ahora el servicio de suministro en condiciones bien distintas de las pésimas en que se lleva a cabo. Con tres mil metros más de agua y con depósitos en relación con un consumo de 15.000 metros cúbicos, se ha podido librar al vecindario de Sevilla de la situación angustiosa que se la ha creado en los últimos veranos. Con una población tres veces menor, Jerez de la Frontera tiene depósitos de 20.000 metros cúbicos de capacidad, mientras que los cuatro con que Sevilla cuenta sólo cubican 15.000 metros. Este es un defecto del sistema de abastecimiento, tanto más patente, cuanto que el rendimiento de los manantiales es sumamente variable; y por todos los medios se ha debido procurar aumentar el caudal de estiaje.

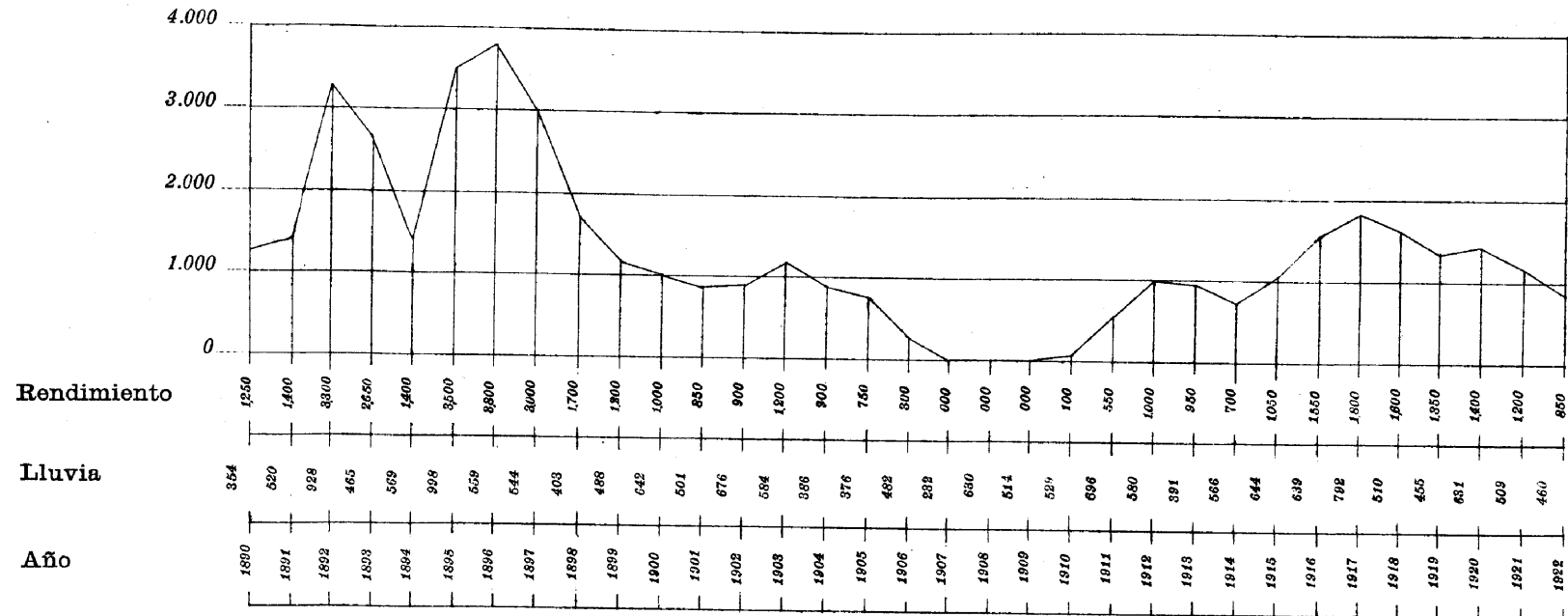
Estos son, Ilmo. Sr., los datos más importantes que relacionados con el abastecimiento de aguas de Sevilla hemos recogido en nuestra reciente visita a la localidad; las consideraciones que los mismos nos han sugerido, y las conclusiones a que nos conducen los razonamientos basados en unos y otras.



MANANTIAL DEL ZACATÍN



CAÑADA DE LA FUENSANTA



INDICE
DE LAS
MATERIAS CONTENIDAS EN ESTE TOMO

	<u>Páginas.</u>
PRÓLOGO	IX
Determinación de la edad de la Tierra por la teoría de la Radioactividad	3
Estudio para la investigación del carbonífero oculto bajo el secundario de Palencia y Santander	23
El carbonífero de Orbó y Barruelo.....	26
Reconocimiento del terreno	37
Tectónica	59
Situación y profundidad de los sondeos	66
Conclusiones	71
La topografía glaciaria del macizo del Trampal-Calvitero (Béjar)	73
Geografía, geología y morfología	78
La morfología alpina. Huellas glaciares de la cuenca del río de Candelario (vertiente septentrional)	83
Vertientes meridional y occidental: glaciares del Trampal y de la Solana	85
Retrocesos	93
Sobre una zona argentífera en la Somosierra	97
Descripción geográfica	99
Descripción geológica	101
Minerales de la zona.....	112
Clasificación de los criaderos	118
Parte histórica	119
Conclusiones	124
Bibliografía	128
Estudio de los yacimientos de azufre de las provincias de Murcia y Albacete	131

	Páginas.
El azufre. Historia, formación del azufre sedimentario .	133
Geología	152
Minas de Lorca.....	175
Minas de Abarán.....	187
Coto de Hellín.....	190
Minas del Cenajo.....	203
Minas de Socovos.....	206
Aplicaciones del azufre. — Producción.....	207
Principales métodos seguidos en este Instituto Geológico para las investigaciones de petrografía cuantitativa	215
Medidas de los índices de refracción	217
Informe sobre la impermeabilidad del pantano de Bárcena y Posada, en el río Sil.....	233
Resumen	247
Rectificación geológica de las cuencas del Navia y del Ibias..	251
Salto de Urroz — Informe acerca de los embalses proyectados en la regata Leutsa	263
Pantano de Lerate — Informe acerca de las condiciones de impermeabilidad del vaso	285
Nota acerca del aprovechamiento de aguas torrenciales en las Islas Canarias	303
Informe acerca de la cuenca hidrológica de la Sierra de Mijas. 315	
Introducción	317
Estudio geológico — Interior de la cuenca hidrológica..	318
Terrenos impermeables que rodean la cuenca	320
Estudio hidrológico — La cuenca hidrológica de Sierra de Mijas	324
Principales alumbramientos de la Sierra de Mijas ...	326
Conexión entre los distintos manantiales.....	331
Capacidad de la cuenca de la Sierra de Mijas.....	333
Aforo de los manantiales.....	336
Resumen — Aumento en el caudal de los manantiales .	338
Mantenimiento del caudal de los manantiales	338
Informe sobre el abastecimiento de aguas de la ciudad de Sevilla.....	341

PLANOS Y LAMINAS

CONTENIDOS EN ESTE TOMO

	Páginas.
Carbonífero oculto bajo el Secundario de Palencia y Santander	
Plano Geológico	72
Espesores que cubren el carbonífero	72
Cortes Geológicos	72
Zona Argentífera de Somosierra	
Láminas, I, II y III	130
Mapa Geológico	130
Yacimientos de Azufre de Murcia y Albacete	
Plano de la Serrata de Lorca	186
Lámina I	190
Lámina II	194
Lámina III	196
Lámina IV	198
Lámina V	200
Lámina VI	202
Plano del Coto de Hellín	202
Plano de las minas del Cenajo	204
Pantano de Bárcena y Posada	
Lámina I	235
Lámina II	236
Lámina III	238
Lámina IV	240
Lámina V	244
Plano Geológico	250
Pantano de Lerate .	
Plano y Cortes Geológicos	303
Aguas torrenciales en las Islas Canarias	
Lámina micrográfica	308
Hidrología de la Sierra de Mijas	
Plano Hidro-Geológico	336
Esquema de los manantiales.....	336
Corte Geológico	336
Abastecimiento de Aguas de Sevilla	
Plano Geológico de la cuenca del Guadaira	398
Gráfico del manantial del Zacatin.....	398
Gráfico de la Cañada de La Fuensanta.....	398

