

BOLETÍN
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

II/3-3-9

BOLETÍN
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO
DE
ESPAÑA



TOMO XLVIII
—
TOMO VIII
TERCERA SERIE
(1926)

MADRID
TIP. Y LIT. L. COULLAUT
MARÍA DE MOLINA, 106
1926

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 del 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

COMISIÓN PERMANENTE DEL INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA

<i>Director</i>	Exemo. Sr. D. Luis de la Peña
<i>Vocales</i>	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. Augusto de Gálvez-Cañero.
—	Sr. D. Alfonso del Valle.
<i>Secretario</i>	Sr. D. Guillermo O'Shea.
<i>Vocales</i>	Sr. D. Primitivo Hernández Sampelayo.
—	Sr. D. José Gorostizaga.
—	Sr. D. Enrique Dupuy de Lôme.
—	Sr. D. Juan Gavala.
—	Exemo. Sr. D. Pedro Novo y Chicarro.
—	Sr. D. Alfonso de Alvarado.
—	Sr. D. Pablo Fernández Iruegas.
—	Sr. D. Joaquín Mendizábal.

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.

LA POTASA

POR

AGUSTÍN MARÍN

INGENIERO DE MINAS

TOMO I

PRÓLOGO

La importancia que puede tener en el porvenir la industria potásica española, las singulares circunstancias en que esta industria se ha desarrollado en el mundo, motivado no sólo por la escasez de los yacimientos que proporcionan las sales potásicas, sino también por las especiales condiciones de su beneficio y mercado, y por último el haber podido reunir planos y datos de los criaderos extranjeros y del español que juzgo interesantes conozcan los que se dediquen a desarrollar la industria española de la potasa, han sido causa de que yo me atreva a publicar este libro.

Es, por tanto, un libro de impresión y de recopilación, pues las únicas notas originales sólo las puede hallar el lector en el estudio del criadero potásico español. Y al tratar de este estudio me apresuro a proclamar que una gran parte de él fué publicado con anterioridad por el que esto escribe con mi jefe y maestro D. César Rubio, a quien quiero consignar aquí la expresión de mi profunda gratitud por la guía y ayuda que me ha prestado al haber emprendido la labor de pergeñar y ordenar en forma que se entiendan los datos que haya podido obtener de la que yo creo tan interesante materia.

De nada me hubieran servido mis buenas intenciones de dedicar mi actividad a esta clase de estudios si dos centros científicos de España no me hubieran dado los medios de hacerlo. Por estar afecto al Instituto Geológico pude conocer bien los criaderos españoles, y por el interés que en toda obra científica pone la Junta de Ampliación de Estudios superiores, pude visitar las minas del extranjero. A mis Jefes y a la Junta de Ampliación de Estudios mi profundo agradecimiento.

También debo hacer constar que en mi viaje por Alsacia y por la cuenca potásica de Alemania fuí objeto de especiales atenciones por parte de los estados francés y alemán, teniendo sumo gusto en consignar que por todo el personal técnico de las minas potásicas de Alemania fuí objeto, como representante del Estado español, de agasajos y pruebas de gran afecto y consideración hacia nuestro país, que debemos estimar en lo mucho que valen.

No sería justo dejar de proclamar también lo mucho que me han ayudado en este trabajo de ahora, como lo habían hecho en los anteriores, las Jefaturas de Barcelona y Lérida. Siempre que he recurrido a ellas en busca de datos y noticias he recibido cumplida contestación.

De las Sociedades dueñas de concesiones de sales potásicas en España también he recibido pruebas de afecto y consideración. Me han facilitado (dentro de la prudente reserva con que se llevan esta clase de asuntos) muchos datos y he recibido de ellas muchas enseñanzas.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

No puede menos de interesar el estudio de los criaderos potásicos por el carácter algo misterioso con que yacen en nuestro subsuelo. Constituidos por sales solubles en el agua y que por su extremada delicuescencia, se puede decir también, que son solubles en el aire, han necesitado que la naturaleza los protegiese y los cuidase para que llegaran a poder ser disfrutados por nosotros. Nuestra madre tierra después de haberlos engendrado, supo cubrirlos con un manto arcilloso que los ha hecho invulnerables a través de los siglos a la acción de su enemigo el agua. Y si ésta ha osado alguna vez mancillar sus bancos salinos destruyéndolos, otras veces lo ha hecho en condiciones tales que en vez de ocasionar daños los ha enriquecido por haber producido acumulaciones y alteraciones de sales que han dado lugar a nuevos depósitos más fáciles de ser explotados que los primitivos.

No sin emoción se recorren los campos alemanes y holandeses cubiertos de vegetación, porque al verlos se reflexiona que deben el mayor esplendor alcanzado en estos últimos años a que sus tierras se han alimentado con unas sales olvidadas de los hombres hasta hace poco, y que, sin embargo, fueron depositados en la tierra mucho antes que el hombre hiciera en ella su aparición.

No puede por menos de sorprendernos el considerar

que esas sales producidas por precipitación de aguas de lagos en desecación se formaron en un clima desértico devastador, imposible a la vida, pues no sólo la concentración de las sales hizo huir a los animales de las aguas, sino que la temperatura y la desolación del clima alejaba de aquellos lugares a los seres vivientes. Algo semejante se puede concebir en nuestros días al recorrer los lagos del Erytrea en donde se alcanzan temperaturas de 40 a 50° centígrados y que están hoy en franca desecación. Pues bien, esas sales depositadas en esas condiciones tan azoicas, hoy extraídas por el hombre, sirven para aumentar el tamaño de las espigas de las plantas que dan pan, para dar mayor volumen y riqueza a los tubérculos y raíces que dan azúcar y otros alimentos, para hacer más nutritivas las hierbas de que se alimentan nuestros animales y para pintar de verde nuestros campos que alegran la vista y nos hacen amar la tierra proporcionándonos reposo y venturas.

La tierra de tantos años está un poco cansada y como por otra parte el espacio que disfrutamos los hombres se va haciendo más pequeño, sobre todo en aquellos sitios del globo favorecidos por el clima (no hay bastante trigo en Europa para dar pan a todos los que en ella vivimos) se hace preciso cuidar más el suelo, intensificar más los cultivos y el hombre que lleva su inteligencia en pos de la necesidad creó los fertilizantes y allá en el año 1860 CRUG VON NIDDA alentó a su país para que extrajeran potasa en la cuenca alemana de Stassfurt; y de como el hombre se ha apercebido de la importancia de tal fertilizante, se puede apreciar bien al considerar que en la industria potásica de Alemania hay invertidos unos 1.500 millones de marcos oro (1).

(1) La inversión de este capital fué antes de la guerra.

Aunque las sales potásicas eran desconocidas en su naturaleza y composición química hasta el siglo XVIII, sus aplicaciones son conocidas desde la más remota antigüedad. Aprovechaban los hombres en tiempos antiguos las cenizas de los vegetales para ciertos usos en los cuales el agente útil y activo eran las sales de potasa. Así el hombre prehistórico, según se deduce de los artefactos que nos ha dejado, usaba las cenizas para la limpieza y disolución de los aceites. Para esta misma aplicación lo usaron los egipcios y los árabes.

De la obtención de las sales alcalinas de los lagos de Macedonia habla PLINIO. El médico griego AGINETA es el que dió a conocer el hecho de que, tratada una legía de cenizas de plantas con cal viva se obtiene una legía cáustica.

En los escritos israelitas se cita una substancia llamada *Neter* que se usaba para disolver grasas y los griegos y romanos la llamaban *Nitron* y debía de ser una mezcla de carbonato potásico y sódico. También conocían estos últimos las eflorescencias de nitrato potásico y los chinos, hace mucho tiempo que empleaban esta sal en la fabricación de la pólvora, conocida por ellos mucho antes que en occidente.

ARISTÓTELES (384 a 322 antes de J. C.) da la primera referencia del carbonato al parecer individualizado cuando en sus escritos de meteorología cita que en Italia crecen plantas que hervidas con agua y después evaporadas dan una cantidad grande de sal especial, y DISCORIDES (50 años después de J. C.) cita una sal procedente de los orujos del vino. Los romanos usaban los carbonatos como medicina y como jabón. También en los pueblos germánicos se conocía esta substancia y la usaban incluso para condimentar con ella, como lo hacen hoy algunas tribus de la India.

En un principio, cuando ya se fueron conociendo las sales de potasa y sosa, principalmente los carbonatos, aunque sin diferenciarse entre sí, la palabra usada, englobando a todas, era la de álcali. A los alquimistas árabes, singularmente a los españoles, se deben muchas referencias sobre las sales que nos ocupan. Entre los materiales que denominaban mineralógicos, citaban al que llamaban *Kilja*, que estaba constituido por las cenizas ricas en potasio. Así lo designaba el gran alquimista GEBER que vivió en el año 776. Poco después llamaban sal alcalí a la procedente del arbusto La Barilla que originó una industria importante en nuestro litoral levantino, que ha llegado casi hasta nuestros días.

Los latinos usaban la palabra álcali en el siglo XIV, aunque también empleaban la de soda y, en general, se dió el nombre alcalino a todo aquello que hervía con un ácido.

En el siglo XVI se clasificaban los álcalis en fijos (sales de sosa y potasa) y volátiles (sales de amoníaco). En 1702 se principiaron a diferenciar entre sí las sales de potasio y sodio. En 1759 MARGGRAF empezó a llamar *Kali* al álcali de procedencia vegetal y posteriormente llamó potasa al carbonato potásico. En 1782 llamaron ya a las sales de potasio de *kalium* o potasium y a las de sodio, de sodio o nitrium.

Los nitratos de potasa y sosa se diferenciaban desde hace mucho tiempo de los carbonatos y otras sales. GEBER le daba al nitrato el nombre de sal *petrae*, nuestro gran RAIMUNDO LULIO, en el siglo XIII, le llamaba *nitrium* y los árabes dan a conocer el nombre de salitre. Pero realmente quien habló de esta sal de un modo documentado fué AGRÍCOLA en el siglo XVI en su libro «Re Metallica». En él habla de su obtención por medio del lavado de tierras salitrosas con cal y cenizas.

Las otras sales de potasa y sosa no son conocidas de tiempos tan lejanos. Sin embargo, el sulfuro fué adivinado por GEBER cuando habla de que el azufre puede llegar a disolverse en legías cáusticas. El primero que debió prepararlo fué ALBERTUS MAGNUS en 1193. Los sulfatos fueron descubiertos por ISAAC HOLLANDUS en el siglo XV aunque sin diferenciar los neutros de los ácidos. En el siglo XVI se usaban en medicina y en el siglo XVIII ROUELLE obtuvo el bisulfato del sulfato neutro.

El clorato potásico fué descubierto en el siglo XVII por GLAUBER. El primero que empleó el cloruro fué SILVIO DE BOE en el siglo XVII, que lo usó por primera vez en medicina con el nombre de sal febrífuga o digestiva, pero quien la distinguió químicamente fué DU HAMEL DU MONCEAU. Las demás sales potásicas fueron descubiertas en el siglo XIX, después que DAVY, en 1807, obtuvo el potasio de la potasa cáustica por medio de la electrolisis. Hasta entonces, pues, no se diferenciaron bien las series de sales de sosa de las de potasa.

Resulta pues, que la ciencia química, de un modo más o menos elemental, aprovechaba las sales de potasio y sodio que existían principalmente en las plantas, para algunos de los usos en que hoy se utilizan, pero no se aprovecharon los yacimientos potásicos almacenados en nuestro subsuelo gracias a los fenómenos geológicos, hasta hace pocos años. Las primeras sales de potasio nativas que se conocieron fueron las de Salzbürg y Galitzia, que constituyen un criadero de muy poca importancia. El criadero alemán, considerado como el más importante del mundo, no se empezó a explotar hasta 1856 y la primera sal que se obtuvo industrialmente por HENRICHE ROSE fué el cloruro doble de potasio y magnesio a la que se dió el nombre de carnalita en honor del Ingeniero VON CARNALL que fué el

primero que perforó dos pozos en el criadero salino de Stassfurt.

Después de la carnalita se explotó en Leopoldshall, por SCHOEN, la kainita, nombre procedente de una palabra griega que quiere decir *nueva*. Posteriormente se empezó a obtener otra sal más dura que las anteriores y a la que los alemanes por esta cualidad denominaron Hartsalz (sal dura).

Las cuencas de Alsacia y la española fueron descubiertas recientemente y ambas de un modo casual, la primera en el año 1904 y la segunda en 1912.

Muy encontradas opiniones ha habido siempre sobre el papel que juegan en las plantas las sales potásicas y hoy día aun no está bien determinado. Nada de extraño es, por tanto, que si con el progreso actual de las ciencias quedan problemas tan interesantes por resolver, que los antiguos dudaran hasta que existieran esas sales en las plantas. Es indudable, sin embargo, que de un modo empírico los antiguos usaban las sales potásicas como fertilizantes, puesto que empleaban las cenizas de vegetales como abonos. Pero no sólo no conocían el papel de los álcalis en las plantas, sino que negaban su existencia en ellos. PLINIO al hablar de las legías alcalinas obtenidas en los lagos de Macedonia emite la idea de que se formaban las sales por influencia del sol atendiendo a que éstas sobrenadaban en los días de fuerte calor.

El primero que emitió la hipótesis de que los álcalis formaban parte de las plantas en contraposición de las teorías sostenidas por otros químicos, fué el químico sueco URBAN HIARNE en 1706. BOURDELIN, casi en la misma época, sospechó que el álcali está en las plantas unido a un ácido cuyo compuesto al ser destruido por la calcinación deja el ácido libre. BOERHAVE también por aquél en-

tonces fué el que aportó una prueba experimental demostrando la presencia del álcali en las plantas. Los químicos MARGGRAF Y ROUELLE abundaron en estas ideas y con ellas se fué fundamentando el criterio de que los álcalis jugaban un importante papel en la teoría del Flogiston, según la cual todos los cuerpos calcinados contenían un elemento (flogiston) que se desprendía por calcinación.

Sin embargo, antes de conocer la presencia de las sales alcalinas en las plantas, BERNARD DE PALISSY en el siglo XVI manifestó en un famoso libro (1) que los fertilizantes obran por las sales que llevan disueltas y que, por lo tanto, el terreno acaba por esterilizarse cuando se le priva poco a poco de las sales solubles. Únicamente, ya en el siglo XIX se empezaron a estudiar bien estas cuestiones. LIEBIG, en su «Química Agrícola» hizo ver, poco después, la importancia extraordinaria que como sales fertilizantes tenían la potasa y el ácido fosfórico. Del papel que juegan estos componentes en las plantas, es triste reconocer que sabemos poco. Algo se ha adelantado en estos últimos años, pero falta mucho camino por recorrer y tal vez cuando se haya llegado al fin, en esta cuestión, se podrán usar los abonos con base más científica que hasta el presente.

Es indudable que la existencia en Alemania del criadero de Stassfurt, que tanta importancia ha alcanzado en su economía nacional, ha dado motivo a que en aquel país se haya estudiado mejor que en todos los demás todo lo referente a la geología, extracción y beneficio de las sales potásicas. De modo que a la bibliografía alemana se hace preciso recurrir preferentemente para poder conocer el estado actual de la ciencia en lo que se refiere a las sales potásicas.

(1) «Des divers sels et de sel commun».

CAPÍTULO I

ORÍGENES DE LA POTASA

EXTENSIÓN DE LA POTASA EN LA NATURALEZA

La potasa es substancia que abunda mucho en el mundo y hay que suponerla procedente de los minerales potásicos que formaron la primitiva corteza de nuestro Globo. Las distintas alteraciones, metamorfismos y disoluciones de ellos, dieron lugar al reparto y difusión del álcali que nos ocupa, en los tres reinos de la Naturaleza.

Unas veces se presenta disuelta en mares y lagos, otras veces acumulada en yacimientos minerales de origen secundario, otras almacenada en plantas y animales.

Sobre la cantidad de potasa existente en el mar varían bastante los cálculos hechos. Análisis medios arrojan los resultados siguientes:

	Según Regnault	Según Dinalt
Sales disueltas	3,53	3,55
Composición de estas sales:		
Cloruro sódico.	76,49	77,76
Id. potásico .	1,98	—
Id. magnésico	10,20	10,88

Bromuro magnésico	0,06	0,22
Sulfato magnésico	6,52	4,74
Id. cálcico	3,97	3,60
Id. potásico	—	2,46
Bicarbonato cálcico	0,08	0,34
Totales	99,39	100,00

Autores alemanes suponen que en el agua del mar existen las siguientes cantidades de sales:

Cloruro sódico	. . . . .	2,69 %.
Id. magnésico	. . . . .	0,32 —
Sulfato magnésico	. . . . .	0,12 —
Id. cálcico	. . . . .	0,14 —
Cloruro potásico	. . . . .	0,06 —
Diversas sales	. . . . .	0,01 —
Total	. . . . .	3,42 %.

Nosotros supondremos, con autores americanos, que existen un 3,30 de sales en disolución, y que en éstas entra el potasio en una proporción del 1,10 %, o sea de 1,38 de óxido potásico anhidro, lo que indica que existe en el agua del mar un 0,036 % de óxido potásico anhidro y que en los mares actuales habrá 510,8 billones de toneladas de potasio. Matignon supone 0,32 gramos de potasa por kg. de agua y calcula en $4,4 \times 10^{14}$ toneladas de K_2O las existentes en el mar.

Hay muchos lagos y mares mediterráneos en los cuales la proporción de los cloruros potásico y sódico es muy superior a la media que acabamos de indicar. En la parte S. del Mar Muerto la proporción de sal común es de un 8 %. Más adelante nos ocuparemos de los lagos en los que la proporción de potasa es grande. Como se ve por los análisis, el potasio según la mayoría de los químicos,

se presenta en forma de cloruro, pero hay trazas de algunas otras sales.

En la corteza terrestre abunda mucho la potasa. Se ha cubicado en 39×10^{15} la cantidad global. Se puede considerar que el término medio en que entra en las rocas es, según Clark y Vogt, de 2,35 %, según Hugo Erdmann de 2,40 y según Matignon (1) alrededor del 3 %.

Especialmente en las rocas hipogénicas es donde la proporción en que se presenta es grande, lo que ha hecho pensar, sobre todo en los Estados Unidos, en su aprovechamiento.

Las rocas más ricas en potasa son las que contienen ortosa, micas potásicas, elementos feldespatoides, leucito principalmente y el glimmer (2).

La proporción de potasa en las rocas hipogénicas que más contienen esta substancia es la siguiente:

Granito	. . . . .	6 a 8 %
Diorita	. . . . .	6,7 a 8,6 —
Sienita	. . . . .	8 —
Traquita	. . . . .	7 a 8,5 —
Sienita eleolítica	. . . . .	15 —
Fonolita	. . . . .	9 —

Ciertas pegmatitas de Sutherlandshire (Inglaterra) contienen del 9 al 10 % de potasa en forma de feldespato.

Las rocas con leucito son las que contienen más potasa. Según los análisis dados por «United States Geological Survey» (3) las cantidades de potasa que contenían 10

(1) Les stocks mondiaux de potasse. Revue Scientifique, 1919.

(2) Memoirs of the Geological Survey. Special reports on the mineral resources of Great Britain. Potash-felspart, 1917.

(3) Bol. U. N. Potash-Bearing rocks of the leucite hills, Sweet water country. Wyoming.

muestras de rocas fueron las siguientes:

Wyomingita	1. ^a	11,50
—	2. ^a	10,75
—	3. ^a	9,81
—	4. ^a	11,16
Orondita	1. ^a	11,76
—	2. ^a	11,91
—	3. ^a	9,92
—	4. ^a	11,40
Madupita		7,99
Leucitita		8,71

Las rocas wyomingita, orondita y madupita son variedades de afanitas con predominio de leucito y de las micas potásicas.

A continuación damos los análisis de los minerales silicatados, más ricos en potasa, tal como se presentan en la corteza terrestre.

Ortosa	11 a 15 %
Microclino	11 a 15
Leucito	15 a 21,53
Nefelino	1 a 4,63
Biotita	7 a 10,8
Muscovita	8
Filipsita	6
Phlogopita	7 a 8
Lepidolita	11
Turmalina	2

Como se ve en los feldespatos alcalinos, en los elementos feldespatoides y en las micas es donde se presenta la potasa con más abundancia.

Los minerales puros contienen mayor cantidad de potasa que cuando éstos se presentan como elementos constituyentes de las rocas. Así el feldespato ortosa puro con-

tiene el 16,39 % de potasa y el que se presenta en las rocas no tiene más del 12 %. El microclino puro contiene 16,34 % y en las rocas no llega a 15 %. El leucito puro contiene 21,58 % de potasa y como elemento constituyente de una roca no llega a esta cantidad; oscila entre el 15 y el 21 %.

La proporción de potasa en las tierras vegetales varía mucho según proceda su formación de rocas más o menos ricas en potasa; en general, varía entre 0 y 5 por 1.000. Suele ser la proporción más baja que el 1, algunas veces llega al 1 y en condiciones excepcionales pasa de esta cantidad.

También en el reino orgánico abunda la potasa. En algunas plantas como la habichuela y la alfalfa, la proporción de potasa llega al 14 y aun al 19 por 1.000.

Los abonos orgánicos contienen potasa en proporciones muy variables según su procedencia. En el estiércol, que es el abono más usado, varía la proporción de potasa según el animal de donde procede, de la alimentación de éste y de si es procedente de deyecciones sólidas o líquidas. Pero en general se utiliza el estiércol procedente de diferentes animales y mezclados con las yácigas y en estas condiciones la cantidad de potasa por ciento varía entre 0,30 y 1 pudiéndose tomar un término medio de 0,60 %. En el purín o sea en los jugos del estiércol, como entran los orines que son más ricos en potasa que las boñigas, es algo mayor la proporción de potasa y sobre todo más fácilmente asimilable.

Las basuras de las ciudades, el excremento humano, los abonos verdes, los restos de pescados, los despojos de lanas, etc. que se utilizan como abonos, contienen una proporción de potasa que rara vez llega a la del estiércol. El guano contiene muy poca potasa. Las tortas de semillas

oleaginosas contienen, sobre todo las procedentes de algunas especies, bastante cantidad de potasa; suele pasar del 1 % y en alguna como la de copra llega al 2 %.

Los fucos que se emplean en abundancia en las costas marinas para estercolar las tierras son mezcla de diversas algas que se recogen cuando las olas las depositan. Por su gran volumen hay que emplearlos cerca de la costa. Contienen bastante potasa aunque en proporción muy variable. Análisis realizados por el Sr. Gasola (1) con muestras de plantas marinas recogidas en las costas de Andalucía después de secados al aire libre dieron el siguiente resultado:

Fucos negros	1,83	por 100
Fucos verdes	0,85	—

Hay ciertos residuos orgánicos de fabricación que contienen potasa, pero como son tratados para la obtención de sales potásicas nos ocuparemos de los más importantes en la descripción de los abonos exclusivamente potásicos.

(1) Abonos por C. V. Gasola, pág. 182.

SALES POTÁSICAS INDUSTRIALES

Como el estiércol proviene en definitiva del suelo, no puede contener nada que no se halle en él, y por consiguiente si al suelo le faltan algunos elementos, éstos le faltarán al abono. Además que si el suelo tuviese una perfecta composición no le reintegraría el abono orgánico el total de lo que la tierra hubiera perdido y por tanto el estiércol es insuficiente y necesita complementarse con abonos químicos. Entre éstos ocupan lugar importante los abonos potásicos.

Las sales de potasa que se encuentran en los abonos, las que son directamente absorbidas por las plantas son: nitrato potásico, sulfato potásico, carbonato potásico y cloruro potásico.

El nitrato potásico procede del tratamiento de materias salitrosas y de tierras nitrosas, o bien de la transformación del nitrato sódico. No puede apenas usarse como abono a causa de su elevado precio. Puro contiene 53,46 de ácido nítrico y 46,54 de potasa. Las raras veces que se emplean los nitratos como abono se utilizan en bruto conteniendo del 12 al 13 % de nitrógeno y de 41 a 46 de potasa, lo que demuestra una gran desproporción entre los dos elementos, por lo que quedan las tierras o faltas de nitrógeno o con una gran cantidad de potasa sin ser utilizada.

Las otras tres sales son las empleadas preferentemente como abonos, sobre todo el cloruro y el sulfato que se presentan en forma de criaderos minerales. El carbonato se halla en otros productos procedentes de fabricaciones determinadas o residuos de especiales combustiones.

Las sales potásicas pueden ser extraídas principalmente:

- 1.º—De los polvos procedentes de las fábricas de cemento.
- 2.º—De los polvos de los Altos Hornos.
- 3.º—De ciertas substancias orgánicas.
- 4.º—De las cenizas vegetales.
- 5.º—De algunas salinas.
- 6.º—De menas potásicas insolubles.
- 7.º—De menas potásicas solubles.

Polvos procedentes de las fábricas de cemento

Los Sres. Nestell y Anderson (1) han señalado que puede existir una fuente de potasa en estado de sal soluble en los polvos finos que salen de los hornos rotativos de cemento. Como éstos al condensarse presentan a veces un volumen considerable, la extracción de la potasa de ellos puede ser ventajosa.

La cantidad de potasa varía según que el horno haya sido calentado con petróleo o con hulla. En el primer caso tienen los polvos un promedio de 9%, siendo las cuatro quintas partes solubles en el agua. En el caso de ser el horno calentado con hulla, la cantidad de potasa es de un 11% y tres quintas partes solamente solubles. Los polvos

(1) Journal of industrial and Engineering Chemistry, Julio, 1918.

más finos contienen hasta el 20 % de potasa. La potasa soluble se encuentra en estado de sulfato o carbonato y la insoluble en estado de silicato complejo. Esta potasa es soluble en el ácido clorhídrico, en agua hirviendo o en la fría, después de varias horas. La presencia de cal acelera su solubilidad. Lo es también en la tierra vegetal húmeda. Nestell y Anderson, recomiendan el empleo de estos polvos como abonos potásicos, sobre todo los finos.

En Alemania, Schott, patentó un procedimiento que consiste en separar primeramente los pedazos arrastrados de mayor tamaño, luego los gases se enfrían hasta que empieza a condensarse la humedad. Después de secados los gases se hacen pasar por una cámara de polvo, con tubos filtrantes en los que se retienen las sales que llegan a contener hasta 20 % de potasa, siendo un 7% soluble en agua.

El método Jungner, de invención sueca, consiste en la producción simultánea de potasa y cemento Portland. Se mezcla con la caliza que entra en la formación del cemento rocas silíceas ricas en potasa, principalmente sienitas, granitos, pórfidos, fonolitas, traquitas, feldespatos, rocas leucíticas, etc. Recomendán que contengan un 10 % de K_2O . La caliza debe ser bastante pura, conteniendo 94 % de carbonato de cal. En estas condiciones, en una fábrica produciendo 100.000 toneladas de cemento se producirán 2.800 toneladas de K_2O . En la fábrica de A/S Dalen Portland Cement fabric de Brevik, Noruega, en la que se aplica el procedimiento que nos ocupa, se utilizan pegmatitas.

El procedimiento Jungner está fundado en el hecho experimental de que a la temperatura a que hay que cocer las materias para obtener cemento, los álcalis y sobre todo la potasa, son volatilizados y salen del horno con los

gases de la combustión, pudiendo ser condensados y recogidos. Los procedimientos utilizados para obtener la precipitación de los gases alcalinos son varios pero todos están fundados en la electrolisis. El más común es hacer pasar los gases a través de unos tubos en conexión con el polo positivo y que tienen dentro unos alambres en conexión con el negativo. Las partículas de polvo caen en el polo positivo y son retiradas continuamente. Es preciso dar a los gases un tratamiento previo que tiene por objeto hacerles perder su cualidad de iones.

El cemento obtenido tiene las mismas cualidades de resistencia que un cemento normal según pruebas que con él se han realizado. El producto alcalino obtenido, debidamente separado del polvo, contiene, según análisis realizados en Suecia: 32,39 % de K_2O ; 14,09 de CaO ; 6,78 de CO_2 ; 3,07 de SiO_2 ; 34,10 de SO_3 ; 5,41 de Na_2O ; 1,24 de H_2O y pequeñas cantidades de alúmina, magnesia, cloro y óxido ferroso.

En los Estados Unidos, en el año 1911, había 12 fábricas con instalaciones para el aprovechamiento de este álcali. En 1919, había ya 17 fábricas instaladas o en instalación. En la fábrica de cementos «Asland», situada en Cataluña, tenemos entendido se han hecho pruebas para la obtención de la potasa de los polvos obtenidos en la fabricación de sus cementos.

Polvos de los Altos Hornos.

Para la utilización de la potasa contenida en los polvos procedentes de los Altos Hornos ha hecho muchos ensayos en Inglaterra la British Cyanides C.^o desde el mes de Abril de 1915. Se considera que en la carga de un Alto Horno entra por tonelada de lingote 11 kilos por término

medio de potasa. De éstos, unos 3 kilos pasan a la escoria y los otros 8 se pierden en los humos que se escapan en la operación.

Los 8 kilos de potasa por tonelada se pueden aprovechar empleando el procedimiento Cottpel que consiste en hacer pasar los gases por entre dos paredes de cemento sobre las cuales cae constantemente una capa de agua formando eléctrodo; alambres de hierro tendidos a igual distancia de estas dos paredes forman el otro eléctrodo. Cuando la corriente pasa a través del gas cargado de polvos de potasa, ésta es precipitada en el agua y se disuelve en forma de una mezcla de cloruro y sulfato de potasio y sales de sodio. Este procedimiento no dió en Inglaterra el resultado apetecido hasta que se agregó a la carga una pequeña cantidad de sal marina. Con este sistema la potasa encerrada en los polvos se encontró volatilizada casi por completo bajo forma de cloruro potásico.

El adoptar el procedimiento a los Altos Hornos no perjudica nada a la calidad de la fundición ni al revestimiento del horno. En Inglaterra se ha constituido una Sociedad para su utilización industrial. Se considera el procedimiento económico y que se podrían utilizar en Inglaterra unas 50.000 toneladas de potasa. No tenemos noticia de los resultados industriales obtenidos.

La cantidad de potasa de las cenizas obtenidas en tres pruebas diferentes fueron: 9,96, 10,38 y 16,78 % de K_2O .

Cuatro grandes compañías de los Estados Unidos: la Bethlehem Steel C.^o South Bethlehem Pa., Carnegie Steel C.^o Piisburg, Thomas Iron C.^o Hokendangua Pa y Tennessee Coal and Iron Railroad C.^o Birmingham Ala, han hecho instalaciones para la obtención de la potasa de los gases de los Altos Hornos.

Substancias orgánicas.

Un manantial de potasa de esta clase es aprovechar la que contienen las aguas del lavado de las lanas sucias. El procedimiento para obtenerla se patentó en Inglaterra en 1859 por los Sres. Maumené y Rogelet. Se instalaron con este objeto varias fábricas en el N. de Francia (Roubaix, Reims) y en Bélgica en la zona de Lieja a Amberes y luego fué introducida esta industria en Alemania por H. Hartmann.

La lana en bruto de Australia contiene hasta el 50 % de suciedad constituída por sudor y está formada por substancias grasas combinadas parcialmente con potasa, conteniendo hasta un 5 % de esta substancia. Las sales solubles extraídas de la suciedad de las lanas encierran según F. Fischer, 85,35 % de carbonato de potasa; 6,15 % de cloruro potásico; 2,98 de sulfato potásico y 5,52 de carbonato de sosa. Los ácidos grasos reunidos a la potasa en la suciedad de las lanas son el oleico, esteárico, acético y algo de valerianico. La lana encierra además sales amoniacales y substancias insolubles en el agua, pero solubles en el sulfuro de carbono.

La grasa de la lana se puede separar primeramente con bencina, y las aguas del lavado tienen próximamente una densidad de 1,10. Ellas son concentradas y calcinadas. El residuo está formado principalmente como se ha dicho por las sales de potasio. Este residuo es disuelto y después concentrado a 50° Braumé. Se separa una mezcla de cloruro y sulfato potásico. De las aguas madres se extrae el carbonato de potasa exento de carbonato de sosa. De 1.000 kilogramos de lana lavada se retiran 75 kgs. de carbonato de potasa.

H. T. Vulté de Rochelle (Estados Unidos) ha propuesto

tratar la suciedad de las lanas por petróleo pesado caliente hasta la precipitación completa de las substancias albuminoides y de las materias minerales a base de potasa insolubles en petróleo. El residuo separado por decantación es lavado en petróleo ligero y después calcinado.

La producción en Europa es de unas 3.000 toneladas de potasa procedente del tratamiento de las lanas.

En 1838, Dubrunfaut descubrió que de los residuos llamados melazas del tratamiento de las remolachas dedicadas a la fabricación de azúcar se podía obtener potasa. Contienen las melazas de 45 a 50 % de azúcar y 3 a 4 % de potasa. Estas melazas diluídas en agua se hacen fermentar para obtener alcohol que luego se destila. Las aguas salobres residuarias con 4° Beaumé son las que contienen las sales potásicas. Se concentran estas aguas hasta 30 o 40° B., o bien en calderas abiertas en las cuales el fondo presenta una convexidad del lado del líquido para aumentar la superficie del caldeo, o, bien por medio del vacío, como se hacía últimamente en algunas fábricas de Francia. De 300 kgs. de melaza se obtienen 100 de estas vinazas concentradas que contienen 75 % aproximadamente de substancias sólidas.

Este residuo se calcina en un horno de reverbero, o mejor en retortas para utilizar los productos de la destilación. El residuo sólido de la calcinación de las melazas contiene de 30 a 50 % de carbonato potásico, siendo los otros productos sulfato de potasa, un 5 o 6 %; cloruro potásico, del 15 al 17 %; carbonato de cal un 16 % y materias insolubles un 9 %. Se agota con agua y se concentra separándose las sales que van cristalizando. Cuando se ha alcanzado los 55° B. se separa también la sosa.

Antiguamente no se utilizaban los productos de la destilación de las melazas que contienen productos ciánicos,

trimetilamina, sulfuro y cianuro de amoníaco y compuestos metálicos. Hoy día, después de los trabajos de C. Vincent, estos gases calientes se hacen pasar por hornos candentes donde se forma amoníaco y ácido cianhídrico: el primero se absorbe haciendo burbujear el gas en ácido sulfúrico concentrado y el ácido cianhídrico se fija con soluciones de sosa cáustica. En la fábrica de Hildesheim se llegan a producir por este procedimiento diariamente de 3.500 a 4.000 kilogramos de cianuro sódico.

Fué en la fábrica alemana de Warnhagen en 1840 donde se obtuvo la potasa por primera vez de las melazas de la fabricación de azúcar y hoy en Europa se producirán unas 20.000 toneladas y en los Estados Unidos unas 10.000 toneladas.

En Italia algunas azucareras carbonizan las melazas con gases calientes de los hornos y luego exportan la potasa que resulta en bruto. Y por último, Rivière, en 1909 propuso separar las sales potásicas de las melazas tratándolas con fluosilicatos de aluminio y de magnesio.

El carbonato de potasa también se obtenía antes de las heces de los vinos para lo cual se calcinaba al aire en una superficie lisa y rodeada de un pequeño muro las segundas heces a las que se agregaban los sarmientos, los racimos, etc. El bitartrato de las heces daba después de secado, prensado y calcinado cenizas de un color blanco agrisado formadas por carbonato casi puro. La industria del ácido tártrico utiliza para otros usos y con mayor beneficio los tartratos de las heces de los vinos.

También se ha intentado obtener potasa de los orujos procedentes de la fabricación del aceite.

Cenizas de vegetales.

Bosques enteros han sido quemados en América y en Rusia para obtener la potasa del lavado de sus cenizas. Las cenizas de vegetales y maderas contienen la potasa en estado de carbonato, sulfato, cloruro, fosfato y silicato.

En los páramos se queman helechos, brezos y retamas, cuyas cenizas carbonosas son ricas en potasa y se utilizan como abono. Se les asigna la siguiente composición:

Cenizas de helechos	28 %	de potasa.
— brezos	16 —	—
— retama	31 —	—
— junco	del 6 al 15 %.	

Se utilizan más las cenizas de leña. 100 kilogramos de madera contienen aproximadamente un kilogramo de cenizas y la potasa contenida en éstas varía mucho según la clase y origen de la madera. He aquí los análisis según diferentes autores:

Encina	de 6 a 16 %	de potasa
Haya	de 8 a 12 —	—
Olmo	de 20 a 25 —	—
Álamo	de 10 a 15 —	—
Pino	de 10 a 15 —	—

Las plantas son primeramente secadas al aire y después quemadas en superficies planas abrigadas del viento en fosas de un metro de profundidad aproximadamente; después se procede con las cenizas a la lixiviación de las materias solubles constituidas por carbonato, sulfato, cloruro, fosfato y silicato de potasio, este último poco abundante. Contienen además sales de sosa e indicios de cal, alúmina, hierro y manganeso. La parte insoluble está constituida por sílice en pequeña cantidad y carbonato y fosfato de cal.

La lixiviación se hace en tinas de doble fondo, la tela superior agujereada. Sobre ésta se coloca otra tela basta; encima de ella se colocan las cenizas debidamente tamizadas. Se llena la tina de agua sin que desborde. Al cabo de 12 horas se trasiega el líquido a otro tonel lleno de cenizas, poniendo siempre las aguas nuevas en contacto de cenizas que ya han sido tratadas por agua y las cenizas nuevas con aguas que han servido ya para otras operaciones. En general las cenizas se lavan tres veces. El producto insoluble está constituido principalmente por carbonato de cal 47 % y fosfatos de cal y óxidos de hierro y aluminio. Las aguas concentradas procedentes de la lixiviación marcan alrededor de 15° B. Son evaporadas en calderas de palastro, hasta adquirir una consistencia pastosa y después pasan a unas calderas de fundición para ser desecadas. Este residuo tiene un color pardo y representa un 10 % del peso de las aguas salinas.

El residuo es calcinado en hornos de reverbero con dos hogares laterales y fuerte corriente de aire con objeto de quemar las materias orgánicas. Se opera con 1.200 kilogramos y se le trata durante seis horas sin llegar a la fusión. Se rompen los pedazos a fin de obtener una masa granulenta más o menos coloreada por los óxidos de hierro. En América la cantidad de estos óxidos no tinte la masa y toman el nombre de "pearl ashes".

Périer (1) ha hecho análisis de las diferentes cenizas. cuyos resultados son los siguientes:

(1) Périer. Mémoires de la Société d'Agriculture, sciences et arts de Valenciennes. T. V.

SUBSTANCIAS	PROCEDENCIA DE LAS CENIZAS				
	TOSCANA	AMÉRICA PEARL ASHES	AMÉRICA ROJA	RUSIA	VOSGOS
Carbonato de potasa . . .	74,10	71,38	68,04	69,61	38,63
Carbonato de sosa . . .	3,01	2,31	5,85	3,09	4,17
Sulfato de potasa	13,47	14,38	15,32	14,11	38,84
Cloruro potásico	0,95	3,64	8,15	2,09	9,16
Agua	7,28	4,56	»	8,82	5,34
Ácido fosfórico, cal, sílice .	1,19	3,73	2,64	2,28	3,86
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Para separar el carbonato de potasa de estos productos impuros se les trata en frío por un peso igual de agua que disuelve el citado carbonato muy soluble y un poco de carbonato de sosa e indicios de otras sales. Este líquido evaporado da el carbonato comercial.

Esta industria tuvo un gran apogeo en Rusia. En el año 1906 había 11 factorías. También era importante esta industria en Transilvania, Canadá y los Estados Unidos. Se puede considerar que una hectárea de terreno en climas moderados produce 3,3 toneladas de madera por año con 1 % de cenizas y que contienen estas cenizas el 5 % de óxido potásico anhidro. Esto representa una producción de 1,65 kgs. de K²O por hectárea de terreno. Con estas cifras se comprende que después del descubrimiento y ex-

plotación de los yacimientos de Stassfurt decayera mucho esta industria. La producción de potasa de esta procedencia es de unas 5.000 a 10.000 toneladas anuales.

Se aprovecharon desde hace mucho tiempo como fertilizante las cenizas de las algas marinas, ya de las nacidas en las costas o ya de las arrojadas a las playas. En Escocia, Irlanda, Normandía y en las costas levantinas de España constituían una industria importante, pero el descubrimiento del criadero de Stassfurt le quitó importancia. Sin embargo, la utilización del yodo y del bromo la hace subsistir en las costas de Escocia y se ha extendido al Japón y a las costas americanas del Pacífico. Durante la Gran Guerra, en los Estados Unidos tomó incremento esta industria, faltos de las sales que importaban de Alemania. En las costas del Atlántico se utilizan ya plantas que se crían en el fondo del mar como el *Fucus digitatus*, *F. vesiculosus*, *F. saccarinus*, *Laminaria digitata* y las que se crían en la superficie del mar, en los escollos como el *Fucus serratus*, *F. nudosus*, etc. El resultado de análisis hechos de las cenizas de algunas de estas algas dieron el resultado siguiente:

<i>Fucus digitatus</i>	26,66	%	de potasa
<i>vesiculosus</i>	13,01	—	—
<i>nudosus</i>	9,13	—	—
<i>serratus</i>	3,98	—	—

En el Pacífico predominan las algas de la familia de las laminariáceas y principalmente las especies *Nereocystis luetkeana*, *P.* y *R. Macrocystis pyrifera* Ag.

Análisis efectuados de las cenizas de algas, arrojan resultados muy diferentes. Contienen principalmente sulfato potásico, cloruro potásico, yoduro potásico, sulfato de sosa, yoduro sódico, carbonato sódico, fosfato de calcio, sílice y óxidos de hierro.

Como abono tiene el inconveniente, con relación a la planta sin incinerar, que ha perdido todo su nitrógeno.

Antiguamente se incineraban las algas vegetales, a las que se da el nombre de Kelp, del mismo modo que las terrestres y daban unas cenizas que contenían del 20 al 25% de sal potásica formada por cloruro y sulfato, pero desde que se creó la industria del yodo en Glasgow por el Doctor Ure este procedimiento fué abandonado.

En el procedimiento de Stanford utilizado desde 1863 en la isla Tyrée en Escocia, después de secadas las algas son destiladas en retortas de gas. El carbón que forma el residuo cede al agua hirviendo sus yoduros, cloruros y sulfatos. Los productos volátiles condensados son análogos a los de la hulla y pueden ser tratados para la extracción de los mismos productos que ésta: sales de amoníaco, ácido acético, parafina, gas del alumbrado, etc.

En Normandía se trataban los Kelps por ácido clorhídrico y se saturaban con cloro. El yodo es precipitado, filtrado, lavado y resublimado en retortas de tierra refractaria pasando a recipientes apropiados los productos volatilizados. El residuo obtenido es evaporado y destilado con óxido de manganeso y ácido sulfúrico. El bromo es obtenido.

En los Estados Unidos en 1918, de grandes cantidades de Kelp se han obtenido 14.029 toneladas de sales brutas cuyo contenido en óxido potásico anhidro era de 4.800 T. Hay ocho fábricas instaladas, casi todas en California.

Aguas madres de las salinas

Es interesante hacer observar cómo se depositan las distintas sales de agua del mar para comprender la composición de las aguas madres de las salinas. Entre 7 y 16

B. se depositan el carbonato de calcio y un poco de óxido de hierro; entre 15 y 20° el sulfato de calcio; a 25 o 26° el cloruro sódico y un poco de sulfato de magnesio; a 26° un poco de cloruro de magnesio; a 28° 5 el bromuro de sodio.

La composición del agua que queda después de las distintas separaciones de sales a diversas concentraciones partiendo de los mil litros de agua de mar es la que sigue:

Grados B.	Volumen de las aguas madres.	Ca CO ₃	Ca SO ₄ 2H ₂ O	Mg SO ₄ 7 H ₂ O	Na Cl	Mg Cl ₂	Na Br	K Cl
3,6	1.000	0,117	0,760	1,180	30,183	3,300	0,570	0,518
20	148	»	0,700	5,180	30,183	3,300	0,570	0,518
26	100	»	0,200	5,170	28,000	3,300	0,570	0,518
30	30	»	»	5,050	6,700	3,198	0,461	0,518
35	17	»	»	4,000	2,560	3,160	0,330	0,518



Muchas aguas madres procedentes de salinas contienen cantidades interesantes de sales potásicas.

En Italia, sobre todo, existen criaderos de sal común que contienen importantes cantidades de dichas sales. En la sal de Cerdeña hay 7,85 de sulfato potásico y 6,72 de cloruro potásico; en las de Volterra hay 12,5 de sulfato potásico y 0,55 % de cloruro potásico. En las aguas madres de las salinas sicilianas de Trapani, a la concentración de 31,4 Bé contiene un metro cúbico, 111,9 kgs. de NaCl; 102 kgs. SO_4Mg ; 146 kgs. MgCl_2 ; 3,07 kgs. BrNa y 29,72 kgs. KCl. En las salinas de Porto Ferraio halló L. Cerrulti 44 kgs. de KCl por m^3 .

Varios ingenieros italianos han llamado la atención sobre la riqueza en potasa desaprovechada en las salinas de su país y han hecho cálculos por los cuales se podrían obtener de las actuales salinas una producción anual de 3.638 toneladas de KCl; superior a la que se importa de Alemania.

En Francia se extraen sales potásicas de las aguas madres de las salinas de Salin Giraud en Camargue, departamento de Bouches du Rhône. Las aguas madres obtenidas contienen por metro cúbico las siguientes sales: 260 kgs. de cloruro magnésico; 34 kgs. de cloruro sódico, 41 kgs. de cloruro potásico, 82 kgs. de sulfato de magnesia y 4 kgs. de bromuro sódico.

El procedimiento que hoy se usa para obtener las sales de las aguas madres es el siguiente: Se concentran las aguas madres de 31 a 34° Bé en estanques cementados con una superficie de 16 hectáreas donde se deposita la llamada sal mixta formada por sal común y sulfato de magnesio que se deja, y la solución restante que contiene por m^3 55,36 kgs. de NaCl; 212,80 de MgCl_2 ; 115,20 de MgSO_4 y 36,50 kgs. de KCl se embalsa en grandes recipientes de cemento de 4,50 metros de altura donde se deja du-

rante el invierno. Cuando la temperatura llega a 12° se separa el sulfato de magnesio y la solución con una densidad de 33° Bé se envía a las torres de separación del bromo, donde se aísla éste por la acción de una corriente de cloro caliente.

Las aguas residuales salen de las citadas torres a los 30° Bé y a la temperatura de 70° y se concentran hasta los 35-36 Bé en los hornos Perión donde la evaporación se verifica a 80° y donde es preciso evitar las incrustaciones. La solución concentrada contiene mucho cloruro y sulfato de magnesio y un 5 % de cloruro potásico y se mezcla con un volumen igual de solución de cloruro magnésico procedente de la ulterior descomposición de la carnalita, a 40° Bé y a la temperatura de 140° y se deja posar la mezcla en una tina en donde se depositan las sales mixtas y la solución, caliente todavía, se decanta en recipientes enfriados con serpentines de cobre por los cuales circulan aguas madres que pasan a los hornos Perión. Cuando la temperatura ha bajado a 20° se separa toda la carnalita y las aguas madres ricas en cloruro magnésico se calientan a 140° para que sirvan para la operación siguiente cristalizando parte del cloruro magnésico. El cloruro potásico obtenido contiene del 72 al 74 por ciento de esta sal y el rendimiento de la operación es que los 15.000 m^3 de aguas madres a 33° beneficiadas en un año con un contenido de 615 toneladas de cloruro potásico, dan 600 T. del 72 % o sean 432 de cloruro potásico puro, perdiéndose el restante en las manipulaciones de la operación.

En los Estados Unidos durante los años de guerra se han extraído grandes cantidades de potasa de sus lagos salados. Llegó en 1918 la producción a 149.052 toneladas de sales brutas, con un contenido en óxido potásico anhídrido de 39.716 toneladas, lo que representa un 73 % de la

potasa total producida en los Estados Unidos.

En toda la región arenosa de Nebraska se presentan una gran cantidad de depresiones que son recipientes de agua de lluvias y nieves y que originan diferentes lagos, algunos con pequeñas variaciones de caudal durante todo el año y otros que se secan en verano. La superficie varía mucho, desde pocos metros hasta 240 hectáreas. El agua presenta muy diferente composición de unos sitios a otros; desde aguas casi puras hasta otras casi saturadas de sales.

Se conocen unos 100 lagos que pueden ser productivos en potasa repartidos en las regiones que se enumeran a continuación, ocupando la extensión que al lado se expresa y con las reservas siguientes en K_2O :

Región	Número de lagos	Superficie. Hectáreas.	Reservas en K_2O Toneladas.
Sheridan County	57	1,256	115.360
Garden »	15	464	40.910
Morrill »	8	203	17.670
Box Butte Cherry County	3	60	2.440
Situación mal definida	18	480	38.730
	101	2.460	215.110

En estos lagos hay algunos que contienen 10 % o más de sales, otros no contienen más que de 5 a 10 % y por último los hay en que la proporción de materias sólidas disueltas oscila entre 1 y 5 %. Así las 215.110 toneladas de K_2O que se han considerado como de reserva total en los lagos de Nebraska, 68.435 se suponen existen en lagos

en donde las sales en disolución entran en la proporción del 10 % o más; 96.570 en aquéllos donde están comprendidas la proporción de sales entre 5 y 10 % y 50.105 entre 1 y 5 %. Existen otros muchos lagos con proporciones en sales del 1 % que no están comprendidos en la anterior relación.

Las sales en disolución son principalmente carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros de potasio y sodio en distintas proporciones, según los lagos. Generalmente predominan los carbonatos. Los bicarbonatos entran también en fuerte proporción. Los sulfatos varían mucho pero frecuentemente entran en proporción elevada, como en los lagos Floyd y Stoughton, aunque en otros como en el Ashburgher lo hacen en proporción pequeña.

A continuación expresamos los resultados de los análisis efectuados sobre los depósitos salinos procedentes de diferentes lagos, por el químico E. T. Erickson:

El lago de Jesse es el más interesante por su riqueza, y por su gran extensión; es el mayor de todos: 130 hectáreas.

La relación entre el sodio y el potasio oscila entre 0,80 y 2,20, siendo el término medio de 1,40, por tanto muy diferente a la composición de los depósitos salinos del agua del mar y de la mayoría de los lagos del mundo.

Se atribuyó en un principio la presencia de estas cantidades de potasa en los lagos de Nebraska a la existencia de arenas procedentes de rocas eruptivas que existen próximas, cuyo contenido en feldespatos potásicos podía explicar la presencia del potasio, pero considerando que en esas rocas el contenido de feldespato potásico es sólo del 5% y mucho mayor el contenido en sodio, y que además se necesitaba que se verificaran reacciones grandes y que exigen mucho tiempo para transformar las sales insolubles en solubles, lo que no sucede en los lagos de Nebraska, se llega a la conclusión que no debe tener su origen la potasa de estos lagos en las tierras y arenas volcánicas. Se supone que la aportación de sales potásicas al lago es debida al arrastre por medio de las aguas de las sales procedentes de cenizas de plantas ocasionadas por los fuegos que menudean en los bosques situados al NE. de la región que nos ocupa; sobre todo parece confirmar esta suposición el considerar que la composición de las aguas que vienen de esta zona, tienen una composición tal que la relación entre el sodio y el potasio viene a ser parecida a la que se deduce de los análisis que acabamos de transcribir.

Otro lago de fuerte producción es el de Searles, en California. El producto obtenido contiene de 60 a 70 % de cloruro potásico y 15 de bórax.

Los lagos Great Salt y Salduro Marsh, en Estah y Sea Weater Bitterns, han sido también objeto de explotación.

LAGOS	SITUACIÓN	SALINI- DAD	K	Na	Cl	SO ₄	CO ₂	H CO ₂	SiO ₂	K ₂ O
Alkali . . .	Garden	2,67	12,89	28,33	2,36	4,72	30,33	21,37	»	15,54
Ashburgher . . .	»	6,34	14,51	28,56	5,58	1,10	36,27	13,90	0,08	17,50
Floyd	Sheridan	5,36	23,84	19,05	4,15	20,02	21,65	11,20	0,09	28,75
Hathorne	Box Butte y Cherry	3,79	11,03	29,60	3,99	1,90	33,80	19,52	0,16	13,30
Jesse	Sheridan	4,49	23,40	20,74	3,71	14,84	26,52	10,69	0,10	28,20
Mitchel	Sin determinar	10,52	18,21	25,45	6,16	3,29	34,43	12,36	0,06	21,95
Phelan	Box Butte y Cherry	5,17	20,82	23,05	1,47	11,90	31,42	11,34	»	25,10
Plant	Sheridan	7,12	21,93	21,77	2,36	12,14	28,39	13,07	0,04	26,42
Stoughton	Id.	3,09	7,60	30,11	14,62	20,28	14,13	13,26	»	9,15
Sturgeon	Garden	2,73	22,94	20,49	4,61	5,90	28,65	17,41	»	27,65
Término medio.			17,72	24,72	4,90	9,64	28,56	14,41	0,05	21,32

Hoy día se ha vuelto a establecer el comercio con Alemania y se ha paralizado la explotación de estos lagos.

En España, en las salinas de Santa Pola, en la provincia de Alicante, se obtienen unas sales potásicas que denominan Kainitas marítimas, y que tienen la siguiente composición, según D. Conrado Granell.

Sulfato magnésico	16 a 18 %
— potásico	8 a 15 —
— cálcico	0,80 —
— sódico	3 a 4 —
Cloruro sódico	30 a 48 —
— magnésico	7 a 12 —
Agua	12 —

Se extrae de las aguas madres de los pantanos salinos un producto potásico que contiene de 9 a 11 % de potasa, principalmente en forma de sulfato potásico, mezclado con sales de magnesia y sodio.

Diversas menas insolubles de potasa.

Indudablemente la gran cantidad de potasa utilizada en la industria y en la agricultura proviene de los depósitos minerales que encierra la corteza terrestre. La escasez en el mundo de minas de sales potásicas solubles ha traído como consecuencia que en aquellos países donde no existían estos criaderos potásicos procuraron extraer la potasa de todas aquellas sustancias minerales que la encerraban aunque hubiera que hacer manipulaciones diversas para darle una forma de inmediata aplicación. Dos fuentes de potasa de esta índole han sido escogidas principalmente: Rocas hipogénicas ricas en potasa y las alunitas.

Las rocas con leucita son principalmente de las que se

ha tratado de extraer la potasa. Se presentan en muy diversos lugares del mundo, pero en general no abundan mucho, porque habiendo sílice abundante, se forma ortosa con preferencia a la leucita. La proporción de sílice con relación a la unidad de alúmina y potasa es de 4 en la leucita y 6 en la ortosa. Ésta explica también la incompatibilidad que existe en las rocas entre la leucita y el cuarzo.

Los americanos y los italianos son los que han estudiado mejor el aprovechamiento de la potasa de las rocas leucíticas. Los americanos han hecho un cálculo de la cantidad de este álcali que contienen las rocas más ricas en potasa de los Estados Unidos, situadas en Rock Springs, Sweet water County Wyo y la calculan en 197 millones de K_2O . Desgraciadamente la potasa obtenida de los silicatos complejos que forman las rocas leucíticas no pueden competir en precio con las sales obtenidas de las menas potásicas solubles.

Se han obtenido gran número de patentes para extraer la potasa de las rocas; hasta 15 en los Estados Unidos, 8 en el Canadá, 7 en Inglaterra, 1 en Francia, 1 en el Japón, varias en Italia.

En las islas Canarias hemos hallado sienitas eleolíticas y fonolitas ricas en potasa, pero en ninguno de estos sitios se ha intentado extraer de ellas este álcali.

Al mismo tratamiento son sometidas en América todas las rocas para la obtención de la potasa, ya sean éstas feldespáticas, leucíticas u otra clase. Un procedimiento antiguo para tratar los feldespatos consistía en mezclarlos pulverizados con cal y agua para hacer unas pequeñas bolas de un centímetro de diámetro; después de secas se las calcinaba bastante fuerte. Se las pulverizaba y se las trataba en vasos cerrados durante tres o cuatro horas con agua a la presión de ocho atmósferas. El líquido

después de enfriado contiene los álcalis, un poco de alúmina y un poco de sílice; estas dos últimas sustancias fáciles de precipitar por el ácido carbónico si el producto no contenía cal. La mezcla de los dos carbonatos de potasa y sosa era evaporada en caliente hasta que el carbonato de sosa se precipitaba.

El procedimiento de Lawrence consistía en reducir a polvo el mineral calentado después de ser enfriado por el agua. El mineral pulverizado se mezcla con serrín y paja en montones rociados con orines, dejándolo abandonado durante mucho tiempo.

El producto obtenido se moldea en briquetas después de haber sido mezclado con una lechada de cal y se le calcina a una temperatura muy elevada. Después es lixiviado por agua, disolviéndose en ella la potasa. La cal se combina con la sílice formando un silicato insoluble.

Ward y Winants calcinaban los feldespatos en hornos de reverbero con 8 % de fluoruro de calcio y bastante carbonato de cal para que la mezcla encierre tres moléculas de cal para una de alúmina y otra de sílice, separando el silicato de potasio por el agua y finalmente transformándolo en carbonato por una corriente de ácido carbónico con formación de sílice gelatinosa.

Spiller propone fundir el feldespato triturado con una mezcla de sulfato de bario y carbón, formándose sulfato potásico. Con nuevas adiciones de ácido sulfúrico se recuperaba el sulfato de bario empleándose de nuevo.

Thompson patentó un procedimiento para obtener sulfato potásico calentando al rojo vivo una mezcla de feldespato, bisulfato sódico y sal común durante dos o tres horas. El residuo era triturado y lixiviado y se obtenía la sal potásica por cristalización. El ácido clorhídrico procedente de la sal, reaccionando sobre el feldespato, formaba

cloruro potásico y obrando el ácido clorhídrico sobre el exceso de bisulfato sódico, se producían los elementos suficientes para transformar el cloruro potásico en sulfato.

Herstein fundía el feldespato con cloruro de calcio y yeso en un horno rotatorio donde el cloruro potásico se volatilizaba y se formaba *cluker*.

Cusman y Caggeshall en América han propuesto un método que parece que presenta un interés industrial. Mezclan el feldespato molido con cal viva, humedeciéndolo con una solución concentrada de cloruro de calcio. Calcinan esta masa en un horno rotativo análogo a los usados para el cemento. El producto cocido cae en grumos en tinas de agua y el cloruro potásico formado se disuelve. El residuo obtenido se lava varias veces hasta agotar todo el cloruro. Las aguas procedentes de estos lavados se utilizan en operaciones ulteriores. La solución concentrada obtenida se evapora en calderas hasta obtener una papilla fluida que se seca en un tambor giratorio. La masa seca se pulveriza y así se entrega al comercio con 70 a 80 % de cloruro potásico y 14 a 16 % de cloruro sódico (suponiendo que el feldespato contuviera 10 % de K_2O y 1,5 a 2 de Na_2O).

En general, para separar las sales de potasio de las de sodio resultantes del tratamiento de los feldespatos, se transforman ambas en nitratos haciéndolas hervir con nitrato de calcio, y así el calcio se separa como hidrato junto con diversas impurezas de alúmina, sílice y hierro. Concentrando la solución filtrada se separa primero nitrato potásico, que se lava con agua y un poco de ácido nítrico y las aguas madres que contienen nitrato sódico y una parte de nitrato potásico, tratadas con cloruro potásico, dan nuevas cantidades de nitrato potásico.

En Italia se presta gran atención a los estudios que se

están realizando para la explotación de las rocas leucíticas y se ha constituido la Compañía «Societa Italiana Potassa» para la fabricación y venta de potasa extraída de las citadas rocas.

Las rocas potásicas de origen volcánico se encuentran en el Centro y Sur de Italia, en Vico y Bolsena en Etruria, Colli Albani y Bracciano cerca de Roma, Roccamonfina en la región de Capua, el Vesubio y los Campos Flegrei en los alrededores de Nápoles, el grupo de las islas Lípari y el Etna. Las rocas más ricas en potasa son las de Vico-Bracciano y Roccamonfina. Washington (1) ha hecho una cubicación de las lavas leucíticas italianas cuyos datos se expresan en el siguiente cuadro:

VOLCÁN	VOLUMEN TOTAL DEL VOLCÁN EN KM ³ TENIENDO EN CUENTA EL CRÁTER.	VOLUMEN DE LAS LAVAS LEUCÍTICAS EN MILLONES DE TONELADAS.	PROPORCIÓN DE K ₂ O.	CANTIDAD DE K ₂ O EN MILLONES DE TONELADAS.
Bolsena	133	33.600	8	2.688
Vico	80,5	18.668	9	1.668
Bracciano	37	10.360	9	932
Colli Albani	83	23.240	9	1.859
Roccamonfina	43	11.200	9	1.000
Vesubio	21	8.400	7,5	630
Totales		105.468		8.777

Como se ve por el cuadro anterior la cantidad de potasa contenida en las lavas italianas es enorme. Lo importan-

(1) Italian leucitic lavas as a source of potash-Met. Chem. Engin, tome 18.

te es llegar a poder beneficiarla en condiciones de competencia con los yacimientos de sales solubles.

A veces las rocas leucíticas muy ricas en potasa se emplean arrojando directamente a la tierra los lapillis y cenizas. Se puede considerar que el contenido de estas rocas en K₂O varía entre 7 y 12 %.

Para enriquecer los minerales leucitíferos se separa la leucita con un tamiz hidráulico y después con separadores electro-magnéticos consiguiendo obtener rocas en que la cantidad de leucita es de 98 %. Esta proporción de leucita es necesaria para el ulterior tratamiento. Un mineral así enriquecido contiene según el análisis (1) hecho en el laboratorio «Elettrochimica Pomilio» en Nápoles sobre el producto desecado a 100°.

Fe ² O ³	2,41
Al ² O ³	21,49
CaO	0,10
K ² O	17,89
SO ² O	59,98

Según los procedimientos modernos, de la leucita se extrae potasa, alúmina y sílice. Se puede considerar que del mineral cuyo análisis hemos transcrito se pueden extraer por 100 partes de potasa 22 partes; de alúmina 24 y de sílice 54.

Para el beneficio se han ideado un gran número de procedimientos. Unos empleando sales neutras, como el cloruro y el nitrato sódico, otras veces se han usado sustancias alcalinas preferentemente la cal y otras veces los ácidos como el sulfuroso, el fluorhídrico, el sulfúrico y el

(1) «Vulcani d'Italia e leucite. Produzione industriale di potassa allumina e silice» por el profesor Umberto Pomilio. «Bulletin volcanologique», 1924.

clorhídrico. El procedimiento fundado en el tratamiento de la leucita por el último de los ácidos citados parece ser es el que ofrece mayores garantías industriales.

Hay varias patentes por las cuales se atacaba la leucita por el cloro directamente, según una en horno eléctrico, en otra por tostación en presencia de sustancias reductoras a alta temperatura y en una tercera mezclando el cloro con anhídrido sulfuroso y vapor de agua.

El ataque de la leucita por el ácido clorhídrico sintético o sea el producido por la reacción directa del cloro y del hidrógeno, es hoy el más generalizado con la patente de Giordani y Pomilio. La leucita atacada por el ácido clorhídrico forma cloruros de potasio, aluminio y sílice. Se separa ésta por filtración y por vía electrolítica se provoca la precipitación de la alúmina. El cloro e hidrógeno se regeneran.

La patente Blanc es la que ha dado origen a la Compañía «Societa Italiana Potassa» para explotar industrialmente las leucitas enriquecidas a 19 de K_2O . En ella se atacan estos minerales por el ácido clorhídrico y en las soluciones mixtas de los cloruros de aluminio y de potasio se separa este último aprovechándose de la disminución de solubilidad por enfriamiento de las soluciones clorhídricas ácidas y calientes. El cloruro de aluminio se obtiene aprovechándose de la retrogradación de solubilidad de esta sal por la presencia de un compuesto teniendo un ion en común (HCl) en la solución. La obtención de la alúmina del cloruro se hace disociando éste a un calor moderado y recuperando el ácido.

Se han hecho ensayos industriales de este procedimiento que han tenido éxito satisfactorio. El empleo de combustibles es insignificante. Una tonelada de cloro con su correspondiente hidrógeno pueden tratar 6 toneladas de

leucita de 90 % con producción de cloruro potásico, alúmina y sílice.

También se ha intentado en Francia triturar las rocas ricas en potasa y echarlas así a las tierras. Así se ha hecho en Puy de Dôme con la roca que llaman domita que es una roca traquítica conteniendo entre 4 y 5% de potasa (1) y eso también se ha propuesto hacer en Canarias.

En el Estado de Minnesota, Estados Unidos, existen unas pizarras de edad ordoviciense "Decorah Shale" que contienen importantes cantidades de potasa; oscila entre el 5 y el 8 % y forma una capa de unos 15 metros de espesor. La potasa se presenta en dos estados distintos de combinación; en uno de ellos, en el que entra en un 60% adquiere más pronto su solubilidad que en el resto. Mezclando las pizarras con sal común y caliza se consigue que gran parte de la potasa se haga soluble y se pueda emplear como fertilizante. También se utiliza mezclada con calizas en la fabricación de cementos.

La necesidad de potasa que han sentido la mayor parte de los países del mundo, ha hecho que se tratase de utilizar la potasa que se presenta en una proporción alta en las alunitas. Este mineral cuya composición corresponde a la fórmula $K_2SO_4, Al_2(SO_4)_3, 2Al_2O^6H^6$ contiene 11,4 de potasa y ha sido objeto de tanteos para poder extraer de él el sulfato potásico.

Los criaderos de alunita más conocidos son los de La Tolfa, cerca de Civita Vecchia, en Italia, en forma de filones enclavados en una roca traquítica. Suele contener, término medio, un 20 % de sulfato potásico. El beneficio de este mineral, hasta el presente, ha consistido únicamente

(1) Análisis dado por Iddings en su libro «Igneous rocks» tomo II página 538.

te en la obtención de alumbre, para lo cual era preciso agregarle ácido sulfúrico.

En Bullah Delah, en Nueva Gales del Sur, se han hallado otros criaderos de alunita y halloysita, cuya composición varía mucho de unos sitios a otros. En los análisis oficiales realizados en la oficina de minas de Australia, la cantidad de potasa variaba entre 5,68 y 9,51 y la cantidad de alúmina, entre 25,91 y 17,52. Se ha creado una Sociedad para su explotación.

En los Estados Unidos se ha descubierto en 1910 (1) unos yacimientos de alunita en Tushan Range, en el SO. de Marysvalls Pinte County, Utah. El mineral contiene, en dos análisis hechos por W. T. Schaller, 10,46 y 9,71 de K_2O . Calculan un tonelaje de 30.000 toneladas de potasa por cada 30 metros de profundidad.

En Marysvalls se extraía la potasa de las alunitas por el procedimiento Chapell, que consiste en reducir la alunita a tamaño de guisantes y en calentarla después en hornos rotativos a $750^{\circ}C$ y después tratarla con agua hirviendo y filtrar. La disolución con el sulfato potásico, ya separado, se evapora en el vacío y da por cristalización el sulfato al 90 % de riqueza.

El procedimiento Morgan consiste en calentar la alunita con cal a $640-690^{\circ}$ en disolver el producto calcinado caliente y luego hacer cristalizar el sulfato potásico.

En España, a 12 kilómetros del puerto de Almería, en los términos de Benahadux y Gádor, se han encontrado unos yacimientos de una variedad de alunita, que el Señor Calderón (2) designó con el nombre de Calafatita, de-

(1) Alunita, a newly discovered deposit near Marysvalls Utah, por B. S. Butler y Hoyt. S. Gale, United States Geol. Survey. Bu 11. 511.

(2) Los Minerales de España. Tomo II, página 207.

dicándola a su descubridor D. Juan Calafat. La fórmula del mineral es $(SO_4)_3, SO_4 K_2, Al (OH)_3 H_2O$ y su composición es la siguiente:

SO_3	34,77
$Al_2 O_3$	37,98
K_2O	9,64
H_2O	17,61
Total	100,00

Se encuentra la calafatita en nódulos enclavados en unas margas arcillosas que a veces contienen también ocre, kaolín, arcillas, giobertitas. En la mina San Ildefonso asoma un pequeño isleto de una roca traquítica muy descompuesta. Se presenta la capa en el contacto del Muschelkalk con los terrenos terciarios. Hay dos minas, «San Ildefonso» y «Carretero y García», en donde se han realizado algunos trabajos de investigación por ser donde los afloramientos eran más importantes y se ha cubicado unas 50.000 toneladas de alunita. En otras minas también hay afloramientos.

En la provincia de Murcia, en el sitio denominado Pedreras Viejas y Nuevas, término de Mazarrón, se han explotado desde antes del siglo XV unas alunitas que se presentan en una traquita muy alterada. Se obtenía de ellas alumbre, mediante una calcinación moderada, una lixiviación y evaporación. Se producían de 3.000 a 4.000 quintales de alumbre. Nunca se beneficiaron para obtener de ellas sales potásicas.

Por último nosotros también hemos hallado la alunita en la zona del protectorado español en Marruecos, en la mina «La Alicantina», y en las estribaciones del Gurugú, a unos 12 kilómetros al SE. de Melilla. Se halla en relación con las rocas traquíticas y andesíticas que tanta importancia tienen en aquella región. En la mina «Alicantina» se en-

cuentra muy cerca de los minerales de hierro piritosos que constituyen el objeto de la única explotación actual de aquella mina.

En todas las minas de alunita citadas se observa la presencia en relación con el criadero de una roca traquítica muy feldespática y de unos filones piritosos de plomo, hierro, etc. Se atribuye el origen de la alunita a la descomposición de los feldespatos por las aguas cargadas de ácido sulfúrico de origen hidrotermal.

Para el aprovechamiento industrial de las alunitas mediante la obtención del sulfato potásico, el Sr. Calafat ideó un procedimiento en el que son precisas tres operaciones: calcinación, lixiviación y evaporación. La calcinación tiene por objeto deshidratar el mineral y hacer desprender el ácido sulfúrico correspondiente al sulfato de alúmina, permaneciendo fija la sal potásica. La temperatura a que hay que someter el mineral es la del rojo sombra. Los productos calcinados son lixiviados, disolviéndose el sulfato potásico y quedando insoluble la alúmina y las impurezas que pueda contener. Si la disolución estuviese ácida se agrega un poco de cal. Las aguas con la disolución de sulfato potásico se llevan a las balsas de evaporación. Como el clima de Almería es muy cálido y además hace mucho aire no se cree haya necesidad de que exista otro agente evaporador que el calor solar. Este procedimiento está en estudio pues creemos que hará falta alguna operación de refinado o purificación del sulfato potásico. El residuo insoluble, la alúmina, suficientemente purificado, puede constituir una buena bauxita.

En la provincia de Murcia en la Sierra de Espuña en las proximidades del pueblo de Alhama de Murcia han sido hallados, después de los estudios del Ingeniero de Minas D. José Gorostizaga, unos minerales fosfatados que con-

tienen una cantidad grande de potasa. Se están realizando para su explotación sondeos, pozos y galerías para comprobar la cubicación del yacimiento y la mayor o menor riqueza en substancias fertilizantes.

El mineral está constituido por unas tierras verdes formadas por granos redondeados de glauconia acompañados por otros granos de fosfatos de cal y calcita. Los granos están unidos por un cemento bastante rico en carbonato de cal y están constituidos en su mayoría por restos de foraminíferos (globigerinas, dentalinas, etc.) cuyas cámaras fueron rellenas por la substancia glauconiana.

El mineral se presenta en forma de capa de unos 10 metros de espesor en la superficie y parece que aumenta a medida que se profundiza; en algunos sitios ha llegado a 23 metros.

Existe la opinión de que estos minerales se presentan en el terreno cretáceo, pero hay dudas acerca de si la formación en donde se encuentran puede ser eocena. Se han hecho muchos análisis. Según el Sr. Gorostizaga se puede tomar como medio el siguiente:

Fosfato tricálcico	18 %.
Potasa	6 —
Nitrógeno	1 —
Sílice	21 —
Carbonato de cal	40 —
Óxidos de hierro y aluminio	10 —
Humedad y agua de combinación	4 —
Total	100 %.

El ácido fosfórico que corresponde a esa ley de fosfato es de 6 a 10 % y de él es soluble en el citrato amónico Vaquer el 2 %. Por medio de una agotación conveniente parece se ha llegado a solubilizar hasta el 45 %. De la potasa anhidra es soluble en el agua el 0,20 % y en algunas

muestras la solubilidad ha llegado hasta el 0,60 %. Auguran que esta potasa al ponerse en contacto con las sales del terreno, queda libre en su mayor parte, y en condiciones de ser asimilada por la planta.

El 50 % del nitrógeno se presenta en estado orgánico y en una proporción menor en los estados nítrico y amoniacal.

Los técnicos han llegado a cubicar en estos criaderos más de 10 millones de toneladas.

El origen de estos fosfatos está aun por determinar, pero su composición parece indicar la procedencia orgánica, sin que se conozca aun el proceso que ha sufrido en la naturaleza para manifestar tan elevada proporción de potasa y nitrógeno.

Es sumamente interesante que se presenten reunidos en un mismo mineral y con proporciones de cierta importancia, fósforo, potasa y nitrógeno, que son los tres elementos indispensables para el cultivo.

Ahora se han hecho estudios para conseguir por medio de la calcinación y levigación aumentar la cantidad de ácido fosfórico, y también para poder llegar a obtener fertilizantes a base de fosfato silicato de cal; sin embargo, hoy se emplean los fosfatos de España con muy buen éxito aplicándolos directamente a la planta después de convenientemente molidos.

Criaderos de sales potásicas solubles.

Por último, únicamente queda por ocuparnos de los criaderos de sales potásicas directamente solubles en agua y que constituyen la principal fuente de potasa en el mundo por no decir que la única.

Nosotros tenemos noticia de los siguientes criaderos:

Criadero de Galitzia.—En la parte oriental de la Galitzia (1), en el mioceno que se extiende paralelamente a los Cárpatos, se han descubierto en la montaña Hasel de Kalusz y otras localidades, yacimientos salinos que en sitios contienen potasa.

Se presenta la sal potásica mezclada con sal común y arcilla, formando bolsadas lenticulares dentro de las arcillas miocenas. Dos son las principales sales halladas. 1.º La llamada kainita con un promedio de 65 % de kainita y del 20 a 30 % de sal, con anhidrita y alguna cantidad de sustancias arcillosas. En algunas partes, raras, existen nódulos de carnalita y silvinita. El producto se vendía al Estado, con destino a la agricultura, con un mínimo del 10 % de K_2O . 2.º Silvinita formada por una mezcla de silvina, sal común y arcilla, conteniendo del 20 al 24 % de cloruro potásico. A veces se presentan cristales grandes de silvino que contienen del 40 al 50 % de cloruro potásico.

La profundidad a que se encuentra la potasa varía mucho por el gran número de accidentes tectónicos que se presentan en la región y por la misma irregularidad del criadero. Oscila entre 100 y 400 metros como término medio. Alguna bolsada de silvinita hallada a 234 metros de profundidad ha llegado a tener un espesor de 18 metros. La parte más alta de esta bolsada contenía: residuo insoluble 16,70 %; KCl , 45,77; $NaCl$, 28,75; $CaSO_4$, 3,64 y $MgSO_4$, 4,74 y la parte inferior: residuo insoluble 25,06 %; KCl , 24; $NaCl$, 37,25; $CaSO_4$, 7,53 y $MgSO_4$, 5,51.

Estos yacimientos potásicos no se presentan sólo en Ka-

(1) Jahrbuch der K. R. Geologischen Reichsanstalt. 1913. Vol XXIII. 1 livraison article de Franz Kossmat. Este autor recopiló y amplió los trabajos de los Dres. J. Niedzwiedzki y E. Tietze.

luz sino que se extienden por las salinas de Turzawielka, Morszin, Stebnik hasta cerca de Drohobyes. En la salina de Turzawielka se dió un sondeo cortándose sales potásicas a 211 metros de profundidad. Estos criaderos por la forma irregular de presentarse nunca podrán ser un negocio importante.

Son los primeros criaderos de sales potásicas que se conocieron y se explotan desde hace muchos años, dando una reducida producción.

Criadero de Abisinia.—En Abisinia se descubrió un criadero potásico que subvino a las necesidades de Italia (1) durante la guerra. Se halla situado el yacimiento en la región denominada *Piano delle sale* (Llano de la sal) en Dunkalia septentrional, gobernada por el Ras Seine, a 5 kms. de la frontera italiana de Eritrea y a unos 100 del Mar Rojo. Está constituido por un antiguo fondo de mar, separado del mar Rojo del que dista unas 50 millas por un brazo de tierra cubierto de dunas. Por su especial topografía se han formado varios lagos salados en donde existen montones de sal en cuyos vértices se forman a veces verdaderos cráteres por donde salen en algunas ocasiones a modo de fuertes erupciones de salmuera muy concentradas y calientes con cloruro de potasio y de sodio.

La sal potásica se presenta mezclada con arena y algo de óxido de hierro. Cuando es muy pura contiene del 90 al 92 % de cloruro potásico, 1 a 2 % de cloruro sódico y lo demás arena, óxido de hierro, etc. En general tiene una riqueza del 65 al 75 % de cloruro potásico y 15 a 25 % de cloruro sódico. El análisis de un cargamento de cloruro

(1) Gyna. M. R. Acad. Lincei Att. vol. 27 n.º. 1 pág. 331.

potásico procedente de este yacimiento (1) dió los resultados siguientes:

Residuo insoluble en agua	3,37
Humedad	0,91
KCl	89,01
NaCl	4,54
P ₂ O ₅	1,52
SO ₃	0,12
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	0,03
Si O ₂	0,03
Mg O	0,04
Ca O	0,05
N H ₂	0,03

El transporte se hacía últimamente con automóviles y se embarcaba el mineral en la costa de Madrá en la bahía de Anflach. Se considera que la cantidad de sales potásicas existentes no pasa del millón de toneladas.

Los señores Pastori, Campanetti y el Dr. Franco Brini fueron los primeros que estudiaron estos criaderos potásicos, estando últimamente el asunto en manos de la Banca Italiana de Scompti. Parece que el negocio lleva una marcha lenta y que no llega a 1.000 toneladas la importación anual en Italia.

Criadero de las Indias inglesas. En las salinas del NE. de las Indias inglesas situadas en la Cadena Montañosa de la Sal y cuyos afloramientos principales se hallan en los distritos de Kohat, Bahadur-Koel, Nandrakka y planicie de Punjan, en las minas de Nurpur, de Warcha y de Mayo y en los alrededores de Kalabach se han presenta-

(1) «Química general y aplicada a la industria» por Héctor Molinari. Vol. II, pág. 38.

do algunas vetas y pequeñas bolsadas de sales potásicas.

En la mina Warcha, se encontró una veta potásica constituida por sulfatos de potasio y magnesio con un 12% de K_2O . En la mina Nurpur se han hallado dos bolsadas lenticulares de kainita y en la mina Mayo se halló otra bolsada lenticular de 95 centímetros de espesor.

La sal parece referirse al precambriano, hallándose encima los siguientes terrenos de abajo para arriba:

Sal gema.—Precambriano.

Arenisca roja.—Cambriano inferior.

Caliza con *productus*.—Caliza carbonífera.

Banco con *ceratites*.—Trías.

Pizarra negra.—Jurásico medio.

Arenisca verde con fósiles.—Neocomiense; algunas veces recubierto por el eoceno.

Las bolsadas potásicas se presentan con gran irregularidad, muchas veces cortando la estratificación y son de pequeñas dimensiones; circunstancias que obligan a considerar a estos criaderos como de poco interés práctico.

Criaderos de Holanda.—Este yacimiento es la prolongación al O. del del Centro de Alemania, singularmente de la cuenca de Wesel, por consiguiente el terreno que lo comprende está afectado por los mismos accidentes y fallas que las cuencas alemanas. Los pliegues hercinianos y varísticos cuadriculan el terreno con dos sistemas de fallas casi perpendiculares. Algunas de las cuadrículas están, con relación a las de al lado, hundidas y otras levantadas. En los hoyos o zonas hundidas es donde se han conservado los yacimientos salinos, como en Winterzswijek y Buurse.

Como en Alemania, la sal potásica en Holanda se presenta en el tramo *zechstein* del permiano y está recubierto por

la arenisca roja, por el Muschelkalk, por el lías, por el terciario y por los depósitos diluviales.

El banco de sal común está comprendido entre dos capas de anhídrita y tiene un espesor de unos 200 metros. Las sales potásicas se hallaron a 975 y 987 metros de profundidad. La mena hallada fué sal dura (Hartsalz) o sea una mezcla de kieserita, halita, silvinita. En la base del criadero se ha encontrado polihalita. Estos yacimientos, en la parte hasta ahora investigada, contienen una pequeña proporción de óxido potásico anhidro por lo que se les considera como inexplotables. En realidad, hasta el presente han sido poco investigados.

Estado de Texas (Estados Unidos).—Los dos primeros ejemplares, enviados desde la región occidental de Texas a los laboratorios de la United States Geological Survey y al de la Texas Bureau of Economic Geology and Technology (que han trabajado mancomunadamente en aquella región en busca de la potasa) que contenían proporción importante de este álcali, fueron procedentes: uno del sondeo Bryant en Midland County Texas y fué hallado entre las profundidades de 733 y 770 metros, contenía alrededor del 9% de óxido potásico anhidro, y el otro en el sondeo Burns número 1 de la Sociedad La Mesa Oil Co. a unas 80 millas del anterior, fué hallado a 588 m. de profundidad y contenía alrededor de 10% de K_2O ; pero los métodos imperfectos empleados en las perforaciones, la poca práctica del sondeador en esta clase de trabajos, trajeron como consecuencia que no se pueda apreciar la importancia del descubrimiento, es decir, si sólo se trata de una cuenca de mero interés científico o si se trata de una cuenca que pueda competir, en su día, con las europeas.

La semejanza de la formación del terreno de la zona

donde se han realizado estos sondeos, llamada región de Red Beds (capas rojas) en el Texas occidental, New Mexico oriental y Oklahoma occidental, con las de cuencas europeas donde se encuentran sales potásicas, así como por pertenecer a la misma edad geológica de la alemana había llamado ya la atención del Geological Survey, así que seguía con interés las perforaciones que para petróleo y agua se hacían en aquellas regiones a las cuales corresponden los dos sondeos donde se halló la potasa.

En el año 1921 se habían hallado ejemplares potásicos en los siguientes trabajos: (1)

(1) M. R. Nourse. Potash in 1921-1922.

NOMBRE DEL POZO	LOCALIDAD	PROFUNDIDAD, METROS	K ₂ O %
Bryant	9 millas al Sur de Midland, Midland County	733-770	6,00
Id.	16 millas al Este de La Mesa, Dawson County	568	10,82
River	En Pecos River 8 millas al Este de Bastow, Vard County	488-489	9,03
Id.	» » » » » »	489-490	5,60
Id.	» » » » » »	501	4,23
Id.	» » » » » »	517-519	6,29
Id.	» » » » » »	572	5,65
Means núm. 1	Nordeste Sovny County, 20 millas al Oeste del ángulo de New México	302-304	11,21
Id.	» » » » » »	530-532	9,00
Id.	» » » » » »	638-639	8,74
Id.	» » » » » »	611-613	3,41
Me Dowell	Glascok County	315-320	10,67
Santa Rita núm. 1	Ángulo SO. de Reagan County	357-359	5,63
Id.	» » » » » »	391-394	7,88
Id.	» » » » » »	413-416	8,29

La sal cortada ha sido la polyhalita, sulfato de potasio, calcio y magnesio ($Mg SO_4 + K_2 SO_4 + 2CaSO_4 + 2H_2O$) que contiene, cuando está pura, un 15 % de $K_2 O$. Se han hallado dos clases: una roja oscura, y otra roja asalmonada, cuyo análisis se expresa a continuación (1), así como el de la polyhalita de Stassfurt, para poder hacer a simple vista la comparación.

SALES	CLASE ROJA TEXAS	CLASE SALMON TEXAS	STASSFURT
Insoluble en agua	0,27	0,39	0,47
Ca O	18,75	18,54	18,42
Mg O	6,48	6,16	6,52
$K_2 O$	15,66	15,37	15,36
$Mn_2 O$	Nada	0,20	0,09
$S O_3$	52,40	52,60	52,68
$H_2 O$	6,07	6,50	6,43
	<u>99,63</u>	<u>99,76</u>	<u>99,97</u>

Los trabajos hasta ahora realizados arrojan datos incompletos y no se ha podido apreciar el espesor de las capas si es que las hay, y en definitiva que no se sabe nada del valor comercial de la cuenca; siendo esto extraño en un país tan industrial como los Estados Unidos y con una necesidad de potasa tan grande. El descubrimiento despertó en su principio un interés enorme y para evitar el agio que alrededor de este asunto se había creado, la United States Geological Survey se vió obligada a publicar una

(1) «Potash reserves in West Texas» por David Whyte. «Mining and Metallurgy». Abril 1922.

nota en su boletín, con objeto de hacer presente al público que todavía, sobre el asunto no había nada que tuviera valor comercial positivo, y sí sólo unos hallazgos de muestras potásicas interesantes.

Yacimientos de nitrato potásico.—El nitrato potásico es una sal conocida y empleada desde hace siglos. Se halla abundante en estado natural en las Indias Orientales, en Bengala, en Bombay, en las cavernas de Ceylan.

Se encuentra como eflorescencia en muchos terrenos y especialmente en Perú, Bolivia, África del Sur y Egipto. En la India, en muchos sitios la tierra contiene hasta 29 % de nitrato potásico y generalmente del 3 al 5%.

También se encuentra en España en Tembleque, provincia de Toledo y en otros varios sitios.

Como los usos a que se destina el nitrato potásico son muy diferentes de los de las otras sales potásicas, no nos ocuparemos en el presente libro de esta clase de criaderos.

Otros yacimientos.—En Dieuze, en Lorena, se ejecutó un sondeo donde se cortó polyhalita, que no había sido hallada en los grandes depósitos salinos de la cuenca de la Lorena, que se extiende desde Lanterfungen a Nancy.

Polyhalita ha sido también hallada en los yacimientos salinos del Keuper, de los Alpes septentrionales, cerca de Hallein, Ischl, Hallstadt.

En Persia, al SE. de la provincia de Aserbeidjan, cerca de Aram en el distrito de Mamam, se ha acusado en la parte alta del depósito salino mioceno la presencia de carnalita recubierta de una costra de mamonita $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4 \cdot CaSO_4 + 3H_2O$.

En Chile los lagos de Pintados y Bella Vista (provincia Zarapaca) con una superficie de 4.000 hectáreas están

cubiertas por una costra salina de 20 centímetros de espesor que contiene 3,14 % de KCl y las aguas contienen 0,8 de KCl. La costra se renueva cada 8 a 10 años. En 1905 se evaluaba en 2 millones de toneladas de K Cl el contenido de estas costras. En 1915 una Sociedad de los Estados Unidos de América emprendió el estudio para el aprovechamiento industrial.

Sólo nos resta ocuparnos de las tres cuencas importantes del mundo: alemana, alsaciana y española, pero cada una de ellas merece capítulo aparte.

CAPITULO II

CUENCA DE ALSACIA

HISTORIA

El descubrimiento de la cuenca potásica de Alsacia, es muy reciente y debido a la casualidad. En el año 1869 fué ejecutado un sondeo buscando aguas subterráneas por Gustavo Dollfus en su propiedad de Dornach, muy cerca de Mulhouse, que alcanzó una profundidad de 240 metros. Halló por primera vez en aquella región capas delgadas de sal gema, a 91 y a 115 metros, alternantes con arcillas yesosas impregnadas de sal, correspondientes al oligoceno inferior, pero no se advirtió la presencia de sales potásicas.

Pasaron los años sin que nadie sospechase la existencia de la cuenca potásica de la Alsacia, y en 1904, Mr. José Vogt formó con Alfredo Zurcher y J. B. Griser, un sindicato de sondeos con objeto de investigar si existía hulla o petróleo en términos de Wittelsheim y ejecutaron el primer sondeo a 3.500 metros al Sur del campanario de este pueblo a la izquierda del ferrocarril de Cernay a Lutterbach. Este sondeo realizado en el mismo año 1904 alcanzó la profundidad de 1.119 metros. No hallaron las sustancias minerales que buscaban, pero en cambio la suerte les favoreció con el descubrimiento del criadero potásico. En este primer sondeo la sal gema fué encontrada a 358 metros de profundidad y se cortaron dos capas de sal potásica, una a 627 y otra a 649 metros de hondura.

En vista de la importancia del descubrimiento los señores Vogt, Zurcher y Griser pidieron el concurso de los financieros alsacianos y franceses para el desarrollo del negocio que el buen resultado del sondeo hacía vislumbrar, sin haber tenido éxito satisfactorio. Entonces solicitaron la ayuda del capital alemán y se constituyó en 1906 la sociedad minera «Gewerkschaft Amélie». Esta Sociedad ejecutó 165 sondeos con profundidades comprendidas entre 250 y 1.000 metros y se determinó de un modo aproximado la superficie de cada una de las capas potásicas que integran el criadero, potencia y profundidad del yacimiento, etc. En 1908 empezó la perforación del primer pozo maestro y en 1910 empezó la extracción de sal potásica por el pozo.

Vogt, deseoso siempre de que se constituyese una Sociedad alsaciana o francesa para la explotación del yacimiento potásico y aprovechando que la Compañía alemana no se había apropiado toda la extensión de la cuenca, pudo llegar a crear, en 1910, una Sociedad por acciones, denominada «Minas de Kali, Sainte Thérèse», gracias al concurso que le prestaron los señores Mercier y Bailly.

En 1911, la Sociedad «Gewerkschaft Amélie» cedió todas sus concesiones a la Deutsche-Kaliwerke en Bernterode. Esta última sociedad traspasó parte de su propiedad a otras sociedades alemanas, resultando que al principio de la guerra había cuatro grupos financieros dueños de concesiones en la cuenca potásica: tres alemanes y uno francés-alsaciano que explotaban las concesiones siguientes:

1.º Deutsche Kaliwerke a Bernterode. Concesiones Amélie, Max, Marie, Marie Louise, Joseph y Else.

2.º Hohenzollern o Röchling a Freden (Hanover). Concesiones Reichsland y Anna.

3.º Wintershall o Loupenmühlen a Heringen. Concesiones Theodor y Prinz Eugen.

4.º Sainte Thérèse a Mulhouse, Sainte Thérèse, Alex y Rudolf.

Habiendo estallado la guerra los alemanes llevaron a Alemania a Mr. Vogt, Director del grupo Sainte Thérèse y nombraron un Comisario alemán que dirigiera este grupo y siguieron explotando las minas durante la guerra, aunque a merced de las vicisitudes militares.

El 17 de noviembre de 1918, entraron victoriosas las tropas francesas en Mulhouse y volvió Mr. Vogt a la dirección de la Sociedad francesa y fué sustituido el personal alemán por francés en las minas alemanas. En 1919 se constituyó el Sequestre Général de las minas alemanas de potasa de Alsacia, nombrando Administrador a P. A. Helmer, Senador del Haut Rhin y se nombró un Director técnico. El Sequestre Général dividió el grupo primero en dos: uno que comprende las minas Amélie, Max, Joseph y Else; y otro que comprende las concesiones Marie y Marie Louise quedando así dividida la cuenca en 5 grupos, cuatro antiguamente de alemanes, que hoy dirige el Sequestre Général, y otro, el que siempre fué francés, Sainte Thérèse.

El Gobierno francés ordenó se hiciera una tasación de todas las minas propiedad de alemanes y fué llevada a cabo por ingenieros franceses, y en 23 de junio de 1920 presentó al parlamento un proyecto de ley en el que se pide un crédito de 150 millones de pesetas para la compra íntegra de toda la propiedad alemana de la cuenca de Alsacia, advirtiéndose que antes de la guerra el estado de Alsacia y Lorena era propietario de la tercera parte de las concesiones Reichsland, Theodore y Prinz Eugen.

SITUACION

Se halla situada en la Alta Alsacia, en el llano del Rin y sus afluentes, teniendo al Oeste muy próximas las estribaciones de los Vosgos y por el E., a unos 15 kilómetros, el citado río. Toca por el Sur a la población importante de Mulhouse.

Contiene dos capas de sal potásica con áreas semejantes y de las cuales la situada más honda ocupa una extensión mayor.

Tiene la cuenca en su parte reconocida y explotada una forma ovalada. Su eje mayor está orientado de NE. a SO. del pueblo de Meyenheim al de Reiningen y tiene una longitud de unos 22 kilómetros y el eje menor de Battenheim a Bollweiler tiene aproximadamente 12 kilómetros. Investigaciones hechas últimamente han puesto de manifiesto la existencia de potasa fuera del clásico óvalo de Foerster (1) atestiguando la prolongación de la cuenca a levante.

Es atravesada la cuenca, casi por su centro, por el ferrocarril principal de Alsacia que va de la frontera suiza a Strasburgo pasando por Mulhouse y Colmar. Desde Mulhouse a Strasburgo hay 109 kms. y desde Radersheim lí-

(1) Besonderer Abdruck aus den Mitteilungen der Geologischen Landesanstalt von Elsass Lothringen, 1911.

TÁS

IA

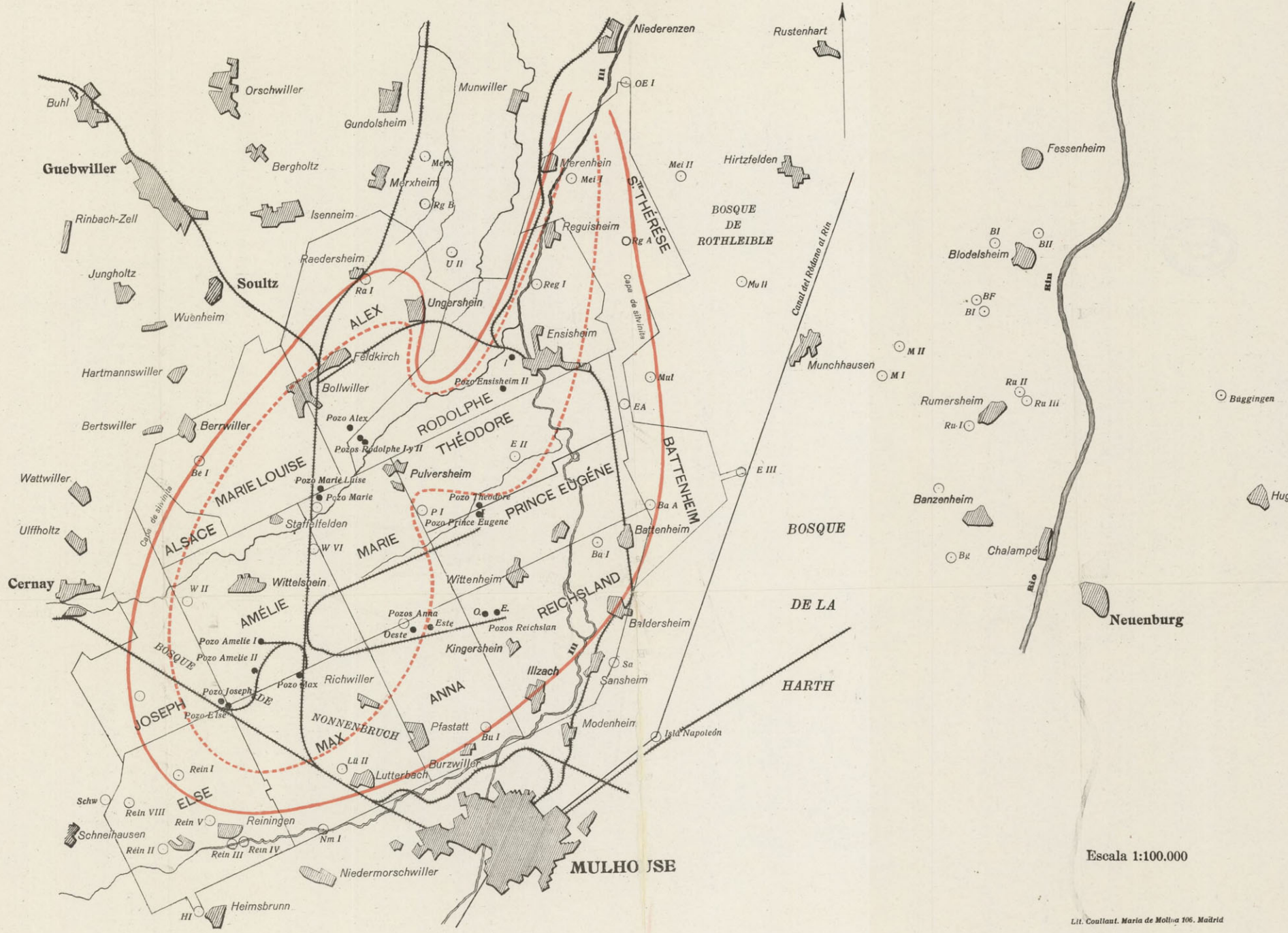
Niederenz

OE I





CUENCA POTÁSICA DE ALSACIA



Escala 1:100.000

Lit. Coulant, Maria de Moll-a 106, Madrid

mite Norte de la cuenca a Strasburgo hay 88 kilómetros.

Muy próximo por el E. se halla el gran canal Ródano-Rin que pasa por Mulhouse.

El Rin, desde Strasburgo, puerto de Kehl a Rotterdam es navegable para barcos de importancia y hay 375 millas. Por consiguiente los medios de transporte para la salida de los productos potásicos de las minas de Alsacia es muy fácil, tanto para el consumo de Francia con su extensa red ferroviaria, como para la exportación por la facilidad que le proporcionan las vías fluviales.

La superficie ocupada por la capa potásica inferior es de unas 17.000 hectáreas y por la superior de 9.000 sin contar con las superficies descubiertas en las nuevas exploraciones.

Las concesiones existentes dentro del óvalo de Foerster con expresión aproximada de la superficie, son las siguientes:

Alsace	400	
Marie Louise	1.500	
Alex	2.000	
Rodolphe	2.000	
Ste. Thérèse	1.600	
Joseph	1.500	
Amélie	1.800	
Marie	1.200	
Theodore	1.300	
Prinz Eugen	1.300	
Battenheim	800	
Else	1.800	
Max	1.800	
Anna	1.200	
Reichsland	1.800	
	<u>22.000</u>	hectáreas en total.

Resulta de las cifras anteriores que parte de estas concesiones con una superficie de 5.000 hectáreas se hallan situadas fuera de la cuenca.

También se aprecia que de las 22.000 hectáreas correspondían al grupo Ste. Thérèse, perteneciente a los franceses antes de la guerra, 5.600 hectáreas de las cuales una parte está situada fuera de la cuenca, y correspondían a los alemanes las 16.400 hectáreas restantes ocupando alguna de ellas el corazón de la misma.

ESTRATIGRAFIA

La cuenca potásica de Alsacia está situada en una depresión llena de depósitos terciarios limitada al Oeste por los Vosgos, al Este por la Selva Negra y al Sur por el Jura. Está recubierta por el diluvium y solamente los sondeos son los que han servido para determinar los horizontes y naturaleza de los depósitos terciarios. Mr. Foerster estudió detenidamente los resultados de todos los sondeos ejecutados que ascienden a 165, la mayoría suspendidos inmediatamente después de cortar las capas de potasa, otros mal realizados sin alcanzar la zona potásica y algunos que llegaron a los terrenos eoceno y jurásico subyacentes. Según dicho Profesor la sucesión de los terrenos en la cuenca es la siguiente:

El diluvium tapa toda la depresión y sobre él circulan los arroyuelos y ríos que vierten sus aguas en el Rin. Está constituido por dos clases distintas de materiales, por los cantos y detritus de las formaciones geológicas que constituyen los Vosgos y por los cantos del Rin. Estos últimos cubren la parte más al Norte de la cuenca, la situada al Norte del paralelo que pasa por los pueblos de Ensisheim y Feldkirch y también a una faja estrecha del Este de la cuenca. En cambio los materiales procedentes de Los Vosgos cubren toda la parte central de la cuenca y sus bordes Sur y Oeste. El manto diluvial adquiere espesor hacia el NE. de la cuenca. Bajo el Hardt llega a 90 y 100 metros de espesor y en Meienheina 140 metros.

Los diferentes horizontes varían mucho de potencia de unos sondeos a otros y en muchos faltan por completo, sin embargo, el orden en la presentación de los depósitos es siempre el mismo. Los sondeos realizados en Ostheim y en Michelbach llegaron al eoceno y jurásico. El efectuado en Wittelsheim, designado con el número 1, se puede tomar como el sondeo normal de la cuenca.

El tramo de las margas azules, como todos los atravesados por los taladros, es muy irregular y falta en muchos sondeos. En los dos realizados en Munchhausen fuera de la cuenca, pero inmediatos a ella, tuvo un espesor de 704 y 511 metros respectivamente y en Ostheim y Meienheim tuvo respectivamente 320 y 394 metros, pero normalmente, sobre todo dentro de la cuenca potásica, tiene un espesor de 60 a 100 metros; en el sondeo tipo de Wittelsheim 61 metros. En general en la parte NO. de la cuenca tiene más potencia. Su fauna está constituida por peces y foraminíferos. Encima presenta algunas capitas de yeso. La parte alta de la formación está constituida por algunos bancos de areniscas.

1. DILUVIUM. Cantos de los Vosgos y del Rin.

<p>3. OLIGOCENO INFERIOR</p> <p>4. EOCENO</p> <p>5. JURÁSICO</p>	<p>Formación pisolítica, conglomerados. Caliza oolítica.</p>	<p>Margas verdes.</p>	<p>Inferior. Margas pizarrenas en lechos delgados</p>	<p>Medio. Margas irisadas</p>	<p>Superior. Margas azules</p>	<p>(a) Arenisca calcárea con restos de peces y plantas. (b) Pizarras con restos fósiles. (c) Margas con foraminíferos.</p> <p>(a) Margas yesosas grises y rojizas con anhidritas y restos de plantas. (b) Margas con limneas, rojizas, grises verdosas y pardas y arcillas. (c) Margas dolomíticas con anhidritas de varios colores con sal gema con pseudomorfosis de sal y con restos vegetales.</p> <p>(a) Zona bituminosa superior, formada de margas dolomíticas con restos vegetales, con sal gema y con las dos capas de potasa. (b) Margas dolomíticas muy ricas en fósiles. (c) Zona bituminosa inferior, margas dolomíticas. (d) Conglomerados con anhidrita y sal común.</p> <p>(a) Margas dolomíticas con limneas. (b) Margas calizas con restos de vegetales y anhidrita.</p>
--	--	-------------------------------	---	---	--	--

Superpuesto a este tramo se presenta un depósito de arcilla de colores rojo, amarillo y gris con intercalaciones de bancos de arenisca que Foerster juzgaba eran las mismas margas descompuestas y que Floquet (1) considera son materiales depositados en época más reciente, miocena o pliocena, aprovechando dislocaciones del terreno.

El tramo de las margas irisadas se puede decir que está constituido por unos lechos margosos de diversos colores con yeso y anhidrita. Son depósitos de transición de aguas marinas a dulces. Existen intercalados bancos con *Limnæas*, *Helix*, frutos de *Chara* y crustáceos pero en la parte del tramo irisado por bajo del banco de *Limnæas* presenta la circunstancia de hallarse en él sal gema blanca y rojiza amarillenta con pseudomorfosis de sal. En todo el tramo se encuentran restos de plantas.

Este tramo en muy pocos sondeos no ha sido hallado, y su espesor varía mucho; en uno realizado en Oberenzen tenía un espesor de 617 metros. En el sondeo tipo de Wittelheim tenía 350 metros, pero en general tiene de 100 a 200 metros. En la parte más al Este de la cuenca es donde parece que este tramo presenta mayor potencia.

El tramo de las *limnæas* también varía mucho de espesor y en muchos taladros falta. Tiene en general una potencia de 20 a 40 metros. Solamente en un sondeo realizado en Wittelheim tenía 135 metros; alcanzando todo el tramo irisado en este sondeo un gran espesor.

En el tramo de las margas pizarreñas es donde aparece la sal potásica. De los cuatro horizontes en que lo dividió Foerster es en el más alto, bituminoso, formado por margas dolomíticas con restos vegetales, donde se pre-

(1) Etude sur le gisement de potasse du Haut Rhin. Annales des Mines 16 livraison de 1922.

sentan las dos capas de silvinita a más de sal común, siempre abundante. Este horizonte tiene un espesor muy variable. En el sondeo tipo de Wittelheim, es donde se le ha medido mayor potencia, tiene 385 metros. Hay sondeos donde falta por completo este horizonte, y en otros el tramo completo. En general, la potencia del horizonte potásico varía entre 100 y 250 metros.

Después de conocida por las primeras investigaciones la disposición general de la cuenca muchos de los sondeos posteriormente realizados se han suspendido después de haber atravesado los mantos potásicos.

Se presenta intercalado en este tramo bituminoso, pero siempre por debajo de las capas potásicas, un horizonte sumamente fosilífero en donde abundan los restos vegetales y los animales de las clases bryozoarios, foraminíferos, insectos, crustáceos y peces. Su espesor varía entre 50 y 100 metros y se encuentra a unos 40 metros más bajo que la capa de silvinita más importante. En el de Wittelheim alcanza el espesor de este horizonte 108 metros. Es el mayor espesor reconocido. Este horizonte es muy característico y constituye lo que los franceses llaman una *roche d'adieu* para la potasa.

Debajo del horizonte fosilífero, el tramo bituminoso se presenta muy rico en anhidrita y sal común, y contiene pocos restos fósiles.

Como la mayoría de los sondeos se han interrumpido después de atravesar las capas potásicas o al llegar a la zona fosilífera, que es un horizonte muy característico y que no deja lugar a dudas sobre la situación geológica del taladro, resulta que en solo cinco sondeos se ha atravesado el tramo de los conglomerados que constituye la base del oligoceno medio. Los cantos de este tramo son jurásicos. Alternan con los conglomerados depósitos de

anhidrita y margas dolomíticas y en algún sitio sal gema. Hay bastantes restos fósiles vegetales. El espesor máximo, de 158 metros, se alcanzó en el sondeo de Michelbach fuera de la cuenca potásica. En el de Wittelsheim tuvo un espesor de 135 metros. En los otros tres donde se le atravesó tenía espesores de 64, 116 y 44 metros.

Todo el tramo de las margas pizarreñas tiene un espesor en el sondeo de Wittelsheim de 520 metros y en general no baja de 250 metros.

Algunos autores se separan de la clasificación de Foerster al determinar los horizontes de la zona salifera que comprende los grupos de margas irisadas y de margas pizarreñas de dicho autor y consideran tres horizontes: zona salifera inferior constituida por margas y conglomerados todas ellas con sal común; margas fosilíferas, uno de los más característicos de la cuenca, y zona salifera superior en donde están comprendidas las capas potásicas.

El tramo de las margas verdes corresponde al oligoceno inferior y es dolomítico en los depósitos de agua dulce o superiores y calizo en los marinos o inferiores. Son las primeras capas que se formaron después del hundimiento que dió lugar a la formación de la cuenca oligocena. Tiene intercalados pequeños bancos de conglomerado y es poco fosilífero.

Ha sido hallado este tramo en solo cuatro sondeos pues en el de Michelbach a pesar de haberse llegado al jurásico no se cortó. Sólo se le atravesó por completo en el de Ostheim, pues en el de Wittelsheim a pesar de haberse perforado 159 metros en él, no se llegó a cortarle en todo su espesor. En los sondeos de Sausheim y Sennheim no se hizo más que tocar. En el de Ostheim tuvo un espesor de 114 metros.

En solo dos sondeos se llegó al eoceno y jurásico en el

Ostheim y en el de Michelbach: en el primero el eoceno tenía 13 metros de potencia y en el segundo 23.

El jurásico fué cortado en el sondeo de Ostheim a 999 metros de profundidad y en el de Michelbach a 712 metros.

Conviene hacer resaltar que en muchos sondeos que han tenido un éxito satisfactorio no se ha hallado la sucesión de terrenos a que antes hemos hecho referencia. En los taladros nombrados Schacht, Wittelsheim III, V y VI, Staffelfelden C, Battenheim, Reiningen I y Lutterbach II, después del terreno diluvial, se han cortado arcillas imposibles de clasificar, luego tramos de sal gema y luego las margas bituminosas con sal gema que contenían los yacimientos potásicos. El espesor del terreno de sal varía entre 50 y 280 metros, pudiéndose considerar un espesor medio de 150 a 200 metros. En algunos de ellos como en los de Staffelfelden, Wittelsheim VI y Schacht se cortó debajo del diluvium y encima de las arcillas el tramo de las margas azules.

Desde luego se deduce de todo lo que hemos dicho que existen grandes diferencias en la naturaleza y sucesión de los depósitos de unos sondeos a otros, como lo confirma lo ocurrido, por ejemplo, con los sondeos: Wittelsheim I, que repetidamente hemos citado y en donde se encuentra la sucesión normal de todos los tramos oligocenos, y Wittelsheim III que representa el corte tipo de la cuenca. Hay entre ellos 400 metros de distancia y ¡qué grande es la diferencia de los terrenos atravesados!

Lo mismo entre los Wittelsheim VI y Wittelsheim X, situados a poco más de un kilómetro y con sus bocas a la misma altura se presentan grandes diferencias. En el primero se cortó la sal potásica a 706 metros, teniendo encima de las margas bituminosas en donde va enclavada un gran

banco de sal común de 180 metros de ancho y en el segundo a los 704 metros se suspendió sin hallar potasa cuando se empezaba a cortar el tramo de las margas irisadas. Como éstos se podrían citar muchos ejemplos.

Se han hecho al Este de la cuenca de Foerster algunos sondeos, parte de ellos con éxito satisfactorio. Los datos dados por Floquet (1) son los siguientes: En el sondeo Blodelsheim I se encontró el yacimiento a 616 metros de profundidad con una capa de 1,70 metros de potasa. En el de Blodelsheim II una capa potásica de 1,20 a 500 metros de profundidad y en los de Munchhouse I y Munchhouse II, capas respectivamente de 0,93 y 1,80 a profundidades de 830 y 744 metros.

En el Ducado de Bade tres sondeos han llegado a la potasa. En el sondeo de Buggingen se halló una capa de 4 metros de potasa a 700 metros de profundidad. Otros sondeos no tuvieron éxito. En el de Rumersheim II y Rumensheim III se llegó a una falla. En el de Bazenheim-estación, suspendido a 620 metros, no se llegó a horizontes que determinaran de una manera positiva si se encontraría o no potasa. Ni en el sondeo de Krotzinger ni en el de Hartheim se halló potasa por estar próximos a asomos jurásicos, pero en el primero se ha encontrado a 400 metros un manantial muy importante y rico en sales y conteniendo cloruros potásico, sódico y lítico.

(1) Etude sur le gisement de potasse du Haut-Rhin.

YACIMIENTO POTÁSICO

En la lámina está representada la línea límite de la cuenca potásica tal como la determinó Foerster después de los resultados de los sondeos por él estudiados. Su superficie ya hemos indicado en otro lugar, cual es. Todos los taladros realizados dentro de esa línea han cortado las capas potásicas. Ha habido muchos suspendidos antes de llegar a ellas por dificultades de ejecución o por otras causas. Únicamente el ya citado Wittelsheim X se llegó a la profundidad de 706 metros sin cortar la potasa, y por los sondeos próximos parece deducirse que a esa hondura ya se debía haber cortado. El sondeo de Ensisheim A se llegó a la profundidad de 737 sin salir de las margas azules y parece lógico ya se hubiera llegado por lo menos a capas salinas. Puede ocurrir que la línea límite de la cuenca no esté bien representada en el plano y que en la zona de este sondeo tenga una inflexión hacia el oeste.

La profundidad a que se han cortado los yacimientos potásicos varía también mucho de unos sondeos a otros, lo que indica que han estado sujetos a pliegues y fallas. Refiriéndonos a la capa inferior, donde se ha cortado a mayor profundidad ha sido en el sondeo Meienheim I a

960 metros y con relación al nivel del mar a 755 metros más bajo que éste. El sondeo donde se halló la capa más próxima de la superficie fué en el de Battenheim I que se cortó a 368 metros o sea 146,72 más bajo que el nivel del mar. Sin embargo, no es en este sondeo en donde la capa se halla más alta, sino en el de Reiningen I, que se cortó a 118 más bajo que el nivel del mar. En el sondeo normal de Wittelsheim se cortó a 588 metros de profundidad o sea a 341 metros más bajo que el nivel del mar.

En el pozo donde se halló más profunda fué en el de la mina Ensisheim a 830 metros y en la que menos, en la mina Amélie, a 500 metros.

Se puede considerar que la profundidad media a que se ha cortado la capa inferior ha sido de 610 metros y con relación al nivel del mar a 390 metros.

Se aprecia, por los resultados obtenidos, que los situados en la parte norte de la cuenca cortaron las capas a mayores profundidades que en la parte sur, lo que demuestra, que aparte de las ondulaciones que presenta, tiene la cuenca una inclinación con buzamiento al Norte bastante marcada.

La separación de las dos capas es bastante constante en toda la cuenca y se puede considerar que la distancia entre ambas es de 20 metros aproximadamente. Sin embargo, en el sondeo de Meienheim I llegó a 32 metros y en el de Staffelfelden C, sólo había 11 metros. En las minas Joseph y Else la separación entre las dos capas es de 30 metros. En cambio en la mina Marie es de 12 metros. Los materiales que constituyen el banco de separación de las dos capas son: margas y sal común. Las margas son muy pizarreñas y salíferas y tienen unos 7 metros de espesor y se encuentran en la parte inferior del banco. Superpuestas se presentan unas capas de sal que tienen intercala-

dos algunos pequeños lechos de pizarra. En esta capa intermedia entre las potásicas es donde se presentan carburos de hidrógeno.

Las capas en general se han encontrado en los sondeos en posición horizontal o con pequeña inclinación; sin embargo ha habido sondeos como en los de Meienheim I y Reigisheim I en donde los estratos tenían más de 45° de inclinación y los de Reigisheim A, Battenheim A y Burzweiler I con algo menos inclinación pero con pendiente muy pronunciada. Es frecuente la inclinación de 10°.

La cuenca presenta suaves ondulaciones y en conjunto un ligero buzamiento al N. En su borde E. presenta un levantamiento muy marcado pero reducido a la zona contigua al mismo límite, porque situados en la cuenca sondeos cerca del borde han encontrado las capas en su posición normal. Sondeos como los de Sansheim I y Oberenzem I situados fuera de la cuenca pero próximos al borde cortaron también los estratos con una fuerte inclinación. En la figura núm. 1 se presenta un corte de la cuenca de Reiningen a Ensisheim.

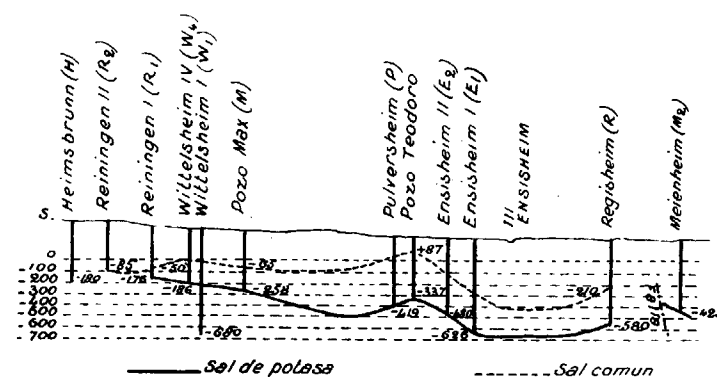


Fig. 1

Los accidentes geológicos que afectan a la cuenca que nos ocupa no son de importancia, sobre todo comparados con los de la cuenca alemana. Afectan mucho más a los bancos salinos que a los estratos que constituyen el muro y el techo del criadero, debido a la plasticidad de la sal, muy superior a la de todos los materiales pétreos.

Existen fallas sencillas, pliegues fallas en forma de cincel e inversiones. Se encuentran de estas últimas en la mina Max y en la de Reichland y en otras varias.

El espesor de las capas potásicas es también muy variable de unos sitios a otros y hay que definir bien al hablar de la potencia, si se refiere a la del yacimiento *in situ* en que la sal gema y la silvinita se hallan mezcladas y con intercalaciones margosas, o si se refiere al espesor de la mena aprovechable en el mercado y en este caso qué cantidad por ciento contiene de óxido potásico anhidro.

En el trabajo hecho por una comisión francesa (1) que estudió detenidamente la cuenca en 1912, se considera que el espesor medio de la capa inferior *in situ* en los sondeos realizados, es 4,147 metros y el de la superior 1,164. La inferior se cortó con el mayor espesor en el sondeo de Meienheim I, con 6,49 del todo excepcional, y con el menor en Burzwiller con 2,29. La capa superior también se cortó en el sondeo de Meienheim con el máximo espesor de 1,69, también excepcional, y con el menor en Reichweder I con 0,53.

En las diferentes minas se puede considerar que el espesor de los yacimientos *in situ* es de:

(1) Mines de potasse dans la Haute-Alsace. Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse. Tomo LXXXII. N.º 4.

MINAS	ESPESOR	
	Capa inferior	Capa superior
Amélie	5,60	1,30
Max	5,60	1,30
Joseph y Else	5,00	0,90
Reichsland	2,44	—
Theodor y Prinz Eugen.	4,00	1,25
María Luisa y María	3,90	1,40
Alex y Rodulf	3,90	—

Pero considerando el espesor medio, hecha deducción de las capas pizarreñas y suponiendo una proporción de silvinita de 84,56 %, atribuyen a la capa inferior un espesor de 3,507 y a la superior de 1,164.

Conceptúan que con esos espesores la proporción de K_2O media para todas las menas reunidas de las dos capas es de 22 %.

Consideran otros autores (1) a la capa inferior con una proporción de K_2O oscilando entre 15 y 20 % y de 22 a 25 para la superior. Desde luego estas proporciones, teniendo en cuenta la relación de las cantidades de mena obtenidas de una y otra capa en las minas que se explotan las dos, dan para el conjunto de las menas potásicas en el caso más favorable 18,3 %, bastante más bajo que el asegurado por Foerster y seguido por la Comisión que estudió la cuenca de Alsacia.

El Profesor Hoyt S. Gale, de los Estados Unidos, ha dado los análisis siguientes (2) hechos con menas amontonadas en las minas y ejecutados con escrupulosidad y con espíritu imparcial:

(1) P. de Retz. Rapport sur le bassin de potasse d'Alsace.

(2) The Potash deposits of Alsace. United States, Geological Survey. Bulletin 715, B. 1920.

Lo que representa respectivamente de K_2O para los cinco análisis: 15,13, 21,04 16,7, 15,9, 22% que dan una media de 18% aproximadamente.

Hemos recorrido algunas de las minas de la cuenca y las capas se presentan constituidas por silvinita y sal común, alternando las capas de una y otra substancia. En los lechos de la primera substancia existe también mucha sal común íntimamente mezclada y variando mucho la proporción en que entra. Hay vetas con un contenido del 50% de K_2O y otras, sin embargo, muy pobres en potasa. La silvinita es muchas veces blanca, transparente, y otras rojiza. El color rojizo le es dado por los óxidos de hierro. Alternando con las vetas de sales se presentan otras de margas pizarreñas generalmente bituminosas de 5 a 30 centímetros de espesor.

La capa superior más rica en K_2O presenta la silvinita en cristales más grandes que en la inferior. El mayor espesor de esta capa coincide con una línea que uniera los pozos de Amélie con los de Ensisheim. La veta de silvinita es única. Tiene por muro la sal gema y por techo un lecho de marga pizarreña de 0,25 metros de término medio de espesor.

La capa inferior presenta con bastante regularidad cuatro bancos potásicos separados por unos pequeños lechos de margas pizarreñas con sal (fig. 2). El espesor de estos lechos va-

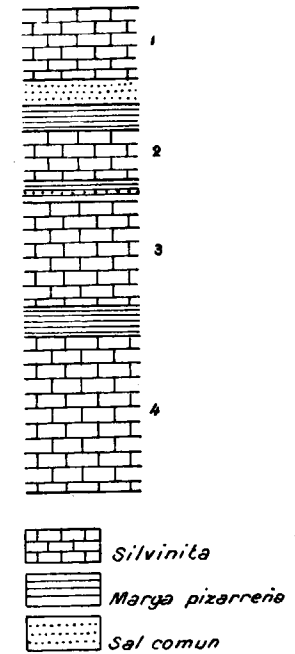


Fig. 2

MINAS	KCl	NaCl	MgCl ₂	CaSO ₄	CaCl ₂	H ₂ O	SOLUBLE	TOTAL
Amélie, capa inferior.	23,95	63,17	0,12	3,42	0,50	0,33	8,00	99,49
Id. id. superior	33,31	55,73	0,08	2,98	0,30	0,30	7,02	99,72
Max.	26,75	57,43	0,36	1,92	1,26	0,71	11,23	99,66
Joseph.	25,49	65,03	0,08	2,63	—	0,61	6,38	100,22
Else.	35,25	51,58	2,78	0,18	—	0,70	9,76	100,25

ría de unas minas a otras, pero se observan en toda la cuenca con bastante regularidad. El lecho estéril comprendido entre las vetas 1 y 2 se compone de dos pequeñas vetas, una inferior de pizarra y otra superior de sal. El comprendido entre 2 y 3 está formado por dos lechos de pizarra que comprenden uno de sal común. El lecho estéril comprendido entre 3 y 4 se presenta con gran regularidad en todas las minas de la cuenca. En la veta 3 se presentan, en algunas minas, dos lechitos de pizarra de unos 2 milímetros de espesor. En la veta 1 se encuentra alguna carnalita, sobre todo en su parte inferior. Se ha observado indicios de bromuros en la silvinita, preferentemente en las capas rojas.

Conviene, sin embargo, hacer resaltar que la única mena potásica explotable hallada en Alsacia es la silvinita, no presentándose ni la carnalita ni ningunas de las que se hallan en Alemania. En las minas ricas como María Luisa, visitada por nosotros, se puede considerar que la capa inferior tiene una riqueza media de 18 a 20 % de K_2O y la superior de 24 a 26 %. En otras minas, como en Alex, el contenido en K_2O de la capa inferior es de 14 a 16 % y el de la superior de 18 a 20 %. Claro es que para llegar a esta riqueza hay que separar en la mina, y en el estrío que se hace a bocamina, los trozos procedentes de las vetas de margas y de sal pura. Esta reducción disminuye mucho el espesor útil potásico de las dos capas. Así en la mina María Luisa la capa inferior que tiene un espesor de 3,50 a 4 metros y la superior de 1,70, quedan reducidas a un espesor útil de 3 y 1,20 próximamente con la proporción en K_2O que antes hemos señalado para las dos capas de esta mina. En la mina Alex las capas tienen espesores *in situ* de 3,60 la inferior y 1,50 la superior. Reducidos quedarían a 3 y 1,20 respectivamente.

Por todas las consideraciones anteriores nosotros creemos que adoptando para las capas los espesores dados por Foerster de 3,50 y 1,16 se puede considerar que tienen una riqueza media en toda la cuenca de 16 % la inferior y de 22 % la superior y una media total de unos 17 %.

GEOLOGÍA

Para llegar a conocer los orígenes, extensión y límites de las cuencas potásicas, es preciso examinar la tectónica de la región, pues no pudiendo atribuir a la sal otro origen que su formación a causa de la desecación de lagos salados, lo primero será darse cuenta de los motivos tectónicos por los que se han formado los lagos, y de este modo se podrá inquirir qué otras regiones o zonas pueden tener condiciones para que en su subsuelo se puedan encontrar los yacimientos potásicos.

En la región subreniana la estructura de los terrenos es la misma que la de toda Alemania. La configuración actual la deben principalmente a dos movimientos: el herciniano y el alpino. Estos movimientos han determinado en la región que nos ocupa dos series de fracturas, unas dirigidas de SO. a NE. correspondientes al herciniano y otras dirigidas de S. a N. correspondientes al alpino.

Conocido es el hundimiento de la clave de la bóveda del anticlinal alpino de unos 300 kilómetros de longitud y unos 20 de anchura. Pero el eje de la zona hundida no es rectilíneo sino que es limitado por fracturas de la dirección alpina y en algún sitio de la dirección herciniana, como la existente de Kaiserstuhl a Heidelberg. En el primero de estos sitios coinciden fracturas de ambas direcciones constituyendo un punto débil de la corteza terres-

tre bien contrastado por presencia de basaltos terciarios.

En la región subreniana estos movimientos han producido fracturas de gran importancia que han formado sus límites naturales, pues se encuentra delimitada por las fracturas que bordean los Vosgos y La Selva Negra que tienen dirección N.-S. en la Alta Alsacia. Se calcula por algún autor que la caída de los terrenos del lado de los Vosgos es de 4.000 metros.

Los movimientos también han producido transportes en masa y pliegues. El examen detenido de estos últimos tiene mucha importancia en el estudio de la cuenca potásica. Floquet considera en la región de la Alta Alsacia, los siguientes anticlinales y sinclinales enumerados según se les encuentra caminando de Sur a Norte. Anticlinal de Ferrette-Istein; sinclinal de Waldighofen-Sierentz-Kembss; sinclinal de Landser en cuya dirección se encuentran los sondeos en los que se cortó potasa de Buggingen y Krotzingen; anticlinal de Illfurt-Mulhouse-Blodelsheim; sinclinal de Montbeliard-Nonnenbruch-Kaisertuhl en donde se encuentra la cuenca potásica reconocida de la Alsacia y anticlinal de los Vosgos atravesando el valle del Rin de Schlettstadt a Offenburg y entrando en los montes de la Selva Negra. Estos grandes pliegues de dirección alpina y de edad terciaria se encuentran cortados por fallas de diversas edades, algunas muy recientes, que tienen gran importancia para las investigaciones de la cuenca y que tal vez hayan dado motivo al ser cortadas por los sondeos a interpretaciones falsas. Estas fallas tienen generalmente dirección N.-S. aproximada y se conocen varias en la cuenca, entre ellas la importantísima de Altkirch-Mulhouse. Ahora bien, si en el sinclinal de Nonnenbruch Kaisertuhl se halló la cuenca potásica, parece probable que en las depresiones de Landser del mismo origen tectónico y

en donde es lógico existiera un lago de las mismas condiciones que el de Nonnenbruch también la hubiera y los resultados obtenidos en los sondeos de Buggingen y Krotsingen así lo confirman.

Respecto al sinclinal de Sierentz-Kembs no se puede decir lo mismo porque es poco profundo. El jurásico se ha encontrado en el sondeo ejecutado de Sierentz a 290 metros de profundidad o sea a 16. metros debajo del nivel del mar.

Los resultados obtenidos por los sondeos ejecutados en el sinclinal de Landser dan una forma completamente distinta a la cuenca en su parte oriental potásica de tal como la tenía representada Foerster, es decir que se prolonga mucho más al Este. Parece sin embargo que el lago correspondiente al sinclinal de Landser debía estar separado del correspondiente al sinclinal de Nonnenbruch por el anticlinal de Altkirch-Mulhouse-Tauiberg y, por consiguiente, en realidad se debía considerar como dos cuencas distintas; pero es muy probable, dado el gran número de accidentes geológicos que afectan a todo el país, que a causa de alguno de ellos existiera algún paso o estrecho que uniera las aguas de las dos lagunas.

Las diversas fallas que atraviesan la zona potásica se han puesto de manifiesto por diferentes sondeos, así por ejemplo, los ejecutados en Ungersheim I y Ungersheim III han encontrado la sal gema a 524 y 893 metros de profundidad, siendo la distancia entre ellos de 900. Esta diferencia de nivel tan grande no se puede explicar mas que por una falla. Lo mismo ocurre en otros sondeos. Con la presencia de estos accidentes se han interpretado como límites de la cuenca, terrenos que sólo representaban el paso de una de estas fallas.

Los sondeos realizados con éxito al Este de la cuenca

reconocida demuestran claramente la verdad de estas aseveraciones. El límite Norte de la cuenca, según Foerster, tampoco debe ser exacto porque la estrecha prolongación representada a este rumbo sólo debe ser el espacio comprendido entre dos fallas que se cortan en un ángulo muy agudo hacia Obesenyen.

Pero aunque la extensión y límite de la cuenca potásica no sea tal como lo hizo Foerster, es indudable que por hoy, mientras no se aumenten las investigaciones, representa la zona industrial de los yacimientos alsacianos. Las exploraciones se siguen al N. y E. de la cuenca pues al S. y Oeste los límites de Foerster parecen bien fijados. Floquet aconseja seguir las investigaciones hacia Ensisheim y cerca de Mulhouse en una primera línea Sausheim-Hombourg.

ORIGEN DE LA CUENCA POTÁSICA

Casi todos los autores franceses y alemanes que se han ocupado de esta cuenca potásica, atribuyen su formación a la entrada intermitente de las aguas marinas en las depresiones ocasionadas por movimientos de descenso o negativos, seguidos de otros de levantamiento o positivos con cooperación rápida y a elevadas temperaturas del agua por precipitación de las sales que contiene.

Durante el período jurásico el mar cubría una gran parte del terreno ocupado por los Vosgos y por la Selva Negra, habiendo al final de este período un levantamiento en masa del terreno con el retroceso consiguiente del mar. Durante el cretáceo los depósitos jurásicos quedaron emergidos, y en el eoceno los levantamientos en pliegues ocasionaron la depresión del Rin con formación de los depósitos lacustres del eoceno. Por consecuencia de un hundimiento general del terreno y aprovechando una depresión que debió haber entre los Vosgos y el Hardt en la región de Phalsburgo, entró en el llano del Rin el mar oligoceno, y como el canal de entrada del agua debió ser estrecho, fácilmente se debió cerrar y constituir un lago en donde debió haber una gran evaporación, coincidiendo

con un movimiento de elevación y formándose los depósitos superiores del tramo de las margas verdes.

Luego, durante todo el período de las margas pizarreñas, se sucedieron los depósitos lacustres y marinos con intermitentes entradas del agua del mar; y en un período grande de evaporación con temperaturas tropicales, se debieron depositar las sales que tenía en disolución el agua del mar y posteriormente debieron ser redisueltas en parte, produciéndose a la vez una mezcla de sal común y silvinita que constituye la capa inferior. Una nueva entrada de agua del mar y un nuevo cierre del canal por donde entró, dió lugar a los depósitos potásicos de la segunda capa que se precipitó ya sobre terrenos impermeables que se habían depositado entre la formación de una y otra capa.

Sobre el criadero se depositaron las margas irisadas con anhidrita y las margas con *limneas* en un régimen lacustre y en un período de levantamiento del terreno. Siguió a éste un hundimiento con nuevas entradas de las aguas marinas con formación de depósitos yesosos y por último, en régimen francamente marino, se debieron depositar las margas azules que son las que se hallan cubiertas por el diluvium.

Casi todos los autores atribuyen la presencia de los potentes bancos de sal (imposible de ser depositados en un lago por profundo que éste sea) a entradas intermitentes de las aguas del mar, **análogamente a lo que ocurre actualmente** en el lago Kara Boghaz, donde por un paso poco profundo con el mar Carpio, interrumpido unas veces y abierto otras, pasan intermitentemente las aguas de este mar. Algunas veces las corrientes del canal llevan pescados del Carpio, pero enseguida mueren y son enterrados por los sedimentos.

Sin embargo Floquet considera que la formación de la sal de la cuenca alsaciana se produjo en lagos cerrados (1) y que las aportaciones de sales que dan origen a la formación de grandes bancos, las proporcionan corrientes superficiales saladas, y que la cuenca de Alsacia en todo el proceso de la formación de los bancos salinos, con potasa o sin ella, no tuvo más que una comunicación con el mar. Esta comunicación duró el tiempo en que se formaron las margas fosilíferas intercaladas en el manto salino.

Es indudable que la formación del criadero alsaciano se hizo en un régimen de calma, así lo atestigua la regularidad y uniformidad con que se presentan los estratos. Las intercalaciones pizarrosas que presentan las capas potásicas son comunes a casi todas las minas; se siguen en grandes extensiones y con la misma constitución, es decir, que no debieron depositarse con aguas torrenciales, sino que son originadas por depósitos de limo fino aportados en tiempos de crecidas suaves. Este régimen de calma se aviene mal con la entrada de aguas haciendo irrupción por canales estrechos.

En Alsacia, como ocurre en España, no se puede explicar cómo los depósitos salinos no contienen sulfatos de metales alcalinos que existen en todos los mares. Solamente se puede explicar por aportaciones de aguas superficiales que lleven sólo en disolución los cloruros, por ser las sales más solubles de todas las que debían formar los yacimientos en donde las aguas las tomaron. La ausencia

(1) Este mismo criterio ha sido por nosotros sustentado para explicar la formación de la cuenca potásica catalana, ya en Agosto de 1922 antes de la publicación del trabajo de M. Floquet. En una conferencia que dimos en el Congreso Geológico de Bruselas, hicimos manifestaciones en ese sentido.

de organismos también parece indicar que el lago durante la formación de las sales debió estar incomunicado con el mar, pues parece lógico que al entrar las aguas del mar arrastraran peces y otros organismos que murieran luego por serles la vida imposible por la concentración de las aguas del lago, pero que debieron quedar enterrados entre los sedimentos análogamente a como ocurre en Kara Boghaz.

Por consiguiente dejándose llevar por estas consideraciones, en Alsacia la sal potásica se debió depositar en un lago cerrado en donde las aportaciones de agua de los ríos, arroyos, etc. era menor que la que se perdía por evaporación y por consiguiente se llegó a la desecación. Las diferencias entre aguas aportadas y evaporadas no debió ser constante y esto puede explicar las diferencias en la constitución del manto salino. La desigualdad del clima pudo producir también variaciones muy grandes en la naturaleza de los depósitos.

Examinando la constitución de las capas potásicas se observa que están formadas por alternancias y mezclas de sal común y silvinita con pequeñas intercalaciones de margas pizarreñas. Pero observando las diversas vetas potásicas que integran las capas se ve que en la parte inferior de esas vetas la sal común y la silvinita se presentan mezcladas y pasando progresivamente de abajo para arriba de sal común a silvinita, en cambio el límite superior de la veta es muy claro. Parece esto indicar que en las aguas concentradas de sal común y silvinita se empezó por depositar la primera y a medida que la concentración fué mayor se precipitó el cloruro potásico y definitivamente sólo éste.

Depositadas las sales, las aguas, de repente, se desconcentran y la precipitación se interrumpe. Esto se deduce

fijándose en que encima de los lechos de silvinita se presenta un estrecho lecho de marga pizarreña, lo que parece indicar que la desconcentración se debe a aportaciones nuevas de aguas a consecuencia de crecidas. También la desconcentración de las aguas puede provenir de una elevación de temperatura y en este caso la única sal que dejaría de depositarse sería la silvinita, atendiendo a la diferente solubilidad de esta sal en frío y en caliente. Las variaciones de temperatura indican la existencia de estaciones en el oligoceno, comprobado por la presencia de vegetales de hoja caduca lo que debió influir mucho en la naturaleza y constitución de las capas potásicas.

Fundándose en estas mismas consideraciones se puede llegar a explicar que la presencia de la carnalita en la capa de más potencia de la cuenca como una concentración del cloruro magnésico.

Solamente es preciso explicar de donde podrían obtener las sales las corrientes de las aguas que alimentaban el lago. Sabido es que los montes de los Vosgos y la Selva Negra están rodeados de asomos del Muschelkal y el Keuper. Es mas, el macizo subreniano es probable estuviera recubierto por el Triás superior. Las capas de sal gema, de yeso e indicaciones de potasa abundan en estas formaciones. Los movimientos terciarios han ocasionado pliegues, levantamientos, etc., que han podido traer como consecuencia, que los yacimientos salíferos se pongan en contacto con aguas superficiales durante el período oligoceno y resulta por tanto que aunque el depósito potásico se haya efectuado durante el período oligoceno, la sal procede de terreno más antiguo, probablemente triásico, atribuyéndola un origen igual al que nosotros hemos formulado para la cuenca española. En definitivo parece tratarse de criaderos secundarios, aunque el proceso que

siguieron las sales en su primera formación triásica y en su precipitación oligocena sea el mismo, es decir, depósitos de sales debidos a evaporaciones de grandes masas de aguas, casi en el mismo sitio de la corteza terrestre.

CUBICACIÓN

La cubicación hecha por Foerster y seguida por la Comisión que estudió la cuenca, asciende a 300 millones de toneladas de K_2O . Para llegar a este resultado, asignan a la capa inferior una superficie de 172 millones de metros cuadrados y un espesor de 3,507 m. y a la superior una superficie de 84 millones de metros cuadrados y un espesor de 1,164, con lo que se llega a un total de 700 millones de metros cúbicos de sales explotables, y suponiendo una densidad a la mena de 2,1 y una proporción de K_2O de 22 % se llega al resultado anteriormente citado de 300 millones de K_2O .

Nosotros no podemos discutir asertos hechos por personas de tanta autoridad en la materia como los señores Foerster, Binder, etc. que han hecho la anterior cubicación, pero sí podemos dar una impresión de nuestra visita a las minas y hacer alguna observación a las anteriores cifras.

En la cubicación anterior, se observa de los datos que hemos podido obtener que dan una proporción de K_2O muy elevada. El profesor Hoyt considera que es de 18 % la proporción de K_2O de la cuenca alsaciana. La misma Comisión que adopta la cubicación de Foerster en otro lugar del libro que publicó, considera en un 20 % la proporción de K_2O con que salen las menas de la mina, y nos-

otros ya hemos manifestado anteriormente que la conceptuamos en 17 %.

Pero además los yacimientos presentan estrecheces que llegan a ser industrialmente esterilidades y fallas que restan superficie explotable; nosotros en las minas hemos visto de las primeras. Estas fallas y anomalías han sido también descubiertas con los sondeos realizados en Ensisheim A y Wittelsheim X y están representadas en los cortes dados por la citada Comisión. Y por último, es muy distinto medir la cantidad de mineral que encierra un criadero, que el mineral que se puede obtener del mismo industrialmente, porque las pérdidas por explotación y por beneficio son grandes, aunque se usen procedimientos de laboreo de mayor rendimiento útil que el sistema de huecos y pilares empleado hasta hace poco y que dejaba abandonado en la mina más de 30 % del criadero.

Nosotros damos por buenas todas las cifras de la Comisión, menos la que se refiere a la proporción media de K_2O en la mena. Adoptaremos para esta última la de 17 por ciento, y suponiendo una pérdida de 20 % por esterilidades, fallas y pérdidas de explotación y beneficio, se tendrá que en la cuenca potásica de Alsacia se podrá disponer, en números redondos, de 200 millones de toneladas de K_2O , cantidad muy grande y que con sólo estamparla da idea de la importancia de la cuenca.

Conviene también hacer presente la pureza de las sales alsacianas que da a la cuenca excepcional interés.

CAPÍTULO III
CRIADEROS DE ALEMANIA

HISTORIA

Las cuencas potásicas alemanas pertenecen todas al zechstein o sea al tramo más alto del permiano, el que los franceses llaman thuringiense. Aunque el origen de todas ellas sea el mismo, se hallan separadas unas de otras y presentan diferencias en su geología y en la constitución del criadero. El haberse comenzado la explotación de las sales potásicas en el distrito de Stassfurt ha dado gran notoriedad a esta localidad, pues por este nombre son en el mundo conocidos los yacimientos potásicos, aunque la cuenca en donde se halla el pueblo de Stassfurt sea una de las varias que existen en Alemania.

Los manantiales salinos de la Alemania Central eran conocidos desde muy antiguo. En Stassfurt, según la leyenda, se explotaban en tiempos de Carlomagno. También en el siglo VIII se tienen noticias de que se explotaba un manantial salino en el feudo de la familia Schladen. En el siglo XII el conde Bernhardt von Haskanien edificó una iglesia en el sitio donde está hoy la de San Juan, cerca del Monasterio Hecklingen, al parecer, para satisfacer las necesidades religiosas del pueblo que se había fundado para el aprovechamiento de la sal.

En 1195 hay testimonios ciertos de la explotación de sal en Stassfurt y se conserva un escrito del año 1227 en el que informa el Monasterio de Hecklingen sobre los manantiales salinos. En 1452 se hizo un pozo de 93 metros de profundidad, que dió un agua muy rica en sal. Vorlach a principios del siglo XVIII expresó su opinión de que el subsuelo de los sitios en donde existían manantiales salinos debió ser un yacimiento sólido de sal. En 1837 se puso de manifiesto el yacimiento en Artern y en 1839 el de Stassfurt.

Las salinas de Stassfurt pertenecieron en un principio al Ducado de Anhalt, pero en 1796 pasaron a poder del fisco prusiano.

En el sondeo de Stassfurt se cortó en 1843, a la profundidad de 265 metros, el pendiente del criadero potásico. Se continuó el sondeo hasta la hondura de 325 y se reconoció que el criadero contenía cloruro potásico y cloruro magnésico. El Dr. Karsten y el profesor Marchand informaron que existían en Stassfurt grandes cantidades de las referidas sales, y en 1852 se empezaron a realizar los trabajos importantes. Después de 5 años de perseverantes trabajos se encontró el yacimiento importante potásico a profundidad de 330 metros y desde la profundidad de 255 metros se hallaron muestras de sales de potasio.

Posteriormente se encontraron los yacimientos de New Stassfurt, Loderburg y Douglashall y otros muchos. En 1861 se dieron al mercado las primeras sales potásicas. Sólo se explotaba la carnalita y la producción fué de 2.293 toneladas. La de sal común fué de 40.314 toneladas. En el año siguiente se principió a producir kieserita aunque la cantidad fué exígua: 20 toneladas. En este año en la Exposición Universal de Londres, fué donde por vez prime-

ra se reveló al mundo industrial y científico la existencia de los yacimientos potásicos y de otras sales de Alemania. En 1864 se produjo una pequeña cantidad de boracita y con continuidad, aunque siempre en pequeña cantidad, se ha seguido explotando. En 1865 se empezó a producir kainita y en 1866 sal dura (Hartsalz); productos ambos, actualmente, de gran interés industrial. Hasta 1888 no se empezó a producir silvinita que es otra de las sales de más importancia de las producidas en Alemania.

Desde que comenzó la explotación de estos yacimientos los trabajos tomaron un gran desarrollo y la producción fué creciendo por años de un modo asombroso, llegándose a vender en el año antes de la guerra una cantidad de sales que contenían 1.110.369 toneladas de óxido potásico anhidro y extrayéndose la sal por más de 100 trabajos distintos y estando pobladas todas las cuencas potásicas de instalaciones mineras y de fábricas químicas.

Al principio la industria potásica fué libre, pero con objeto de evitar la especulación que trajo consigo más de una crisis, se hicieron varias tentativas de sindicación obligatoria en los años 1885, 1889, 1899, 1902, 1904, 1908 y por último en 1910. Se tomaron varias medidas legislativas siendo la de verdadera importancia la ley imperial de mayo de 1910. En esta ley se reglamentaba la producción y la venta de un modo estrechísimo. A consecuencia de la guerra esta ley ha sido abolida y hoy la industria es otra vez libre, aunque de la venta de los productos obtenidos está hoy muy encargada particularmente la entidad comercial denominada el Kalisyndicat.

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL DE LA CUENCA

El hallarse situados los criaderos potásicos en el permiano superior o zechstein, da a este terreno un gran interés y se ha tratado de determinar con precisión los bordes de su formación. Por el Sur están bastante bien conocidos porque existen muchos afloramientos apoyados sobre los terrenos antiguos y así han podido fijar la línea límite Sur de la formación que comenzando en Rusia pasa próximamente por Vlotslavck, al Sur y próximo a Breslau, al Norte y cerca de Dresde, al Sur de Heidelberg, por Metz, al Norte y próximo a Munster, entre Wesel y Düsseldorf y entra en Bélgica casi en la frontera con Holanda.

La línea Norte está peor determinada por hallarse cubierta por el mar pero aproximadamente se ha podido fijar por los asomos del zechstein que se observan en el golfo de Kiel y en la isla Heligoland.

La formación zechstein está cubierta en su mayor parte por terrenos más modernos alcanzando aquél en ciertos sitios profundidades tan grandes que la hacen perder todo interés industrial. Sin embargo, se cree hay posibilidad de poder hallar el zechstein no a gran hondura en las

sierras de Silesia, en Polonia en Wolhynia y hasta en el Donetz en Rusia.

Además de esta gran cuenca del zechstein se encuentra este terreno en Kreica al Sur de Breslau en una faja al Este del Elba.

El espesor normal de los sedimentos del zechstein es de unos 500 metros. A veces se encuentran espesores mayores, pero en general éstos son debidos a pliegues del terreno.

Aparece en algunos sitios en la parte más baja de este terreno un conglomerado, como en la ribera oriental de las montañas del Rin, cuya facies especial indica que en este sitio el mar permiano era de pequeño fondo. Hacia el Este la profundidad del mar zechstein es mayor, invadiendo más superficie y estando en transgresión sobre las montañas de los minerales o Erz-Gebirge.

Encima del conglomerado se presentan las famosas pizarras cupríferas de Masfeld que tienen, término medio, un metro de espesor. Son de origen marino pero de aguas poco profundas.

Aparece encima de estas pizarras y alejadas de los bordes del zechstein el lodo calizo de espesor de 8 a 10 metros y encima los depósitos salinos de dos edades distintas y sobrepuestos a ellos se presentan las areniscas rojas triásicas.

La formación del zechstein ha estado sometida a diversas acciones tectónicas que lo han plegado y fracturado. Han sido entre ellas predominantes las hercinianas y las alpinas. En la constitución geológica de las cordilleras en donde se apoya el zechstein tuvo mucha importancia, los movimientos que dieron lugar a la dirección de fracturas NE.-SO. del Niederland y que una vez terminados sobrevino la transgresión del zechstein. Durante la formación

de este terreno sobrevinieron los movimientos hercínios, algunos antes de depositarse las masas salinas y otros después; siguiendo a estos movimientos permiaños, con dirección de fracturas NO.-SE., otros secundarios que se enlazaron con los alpinos.

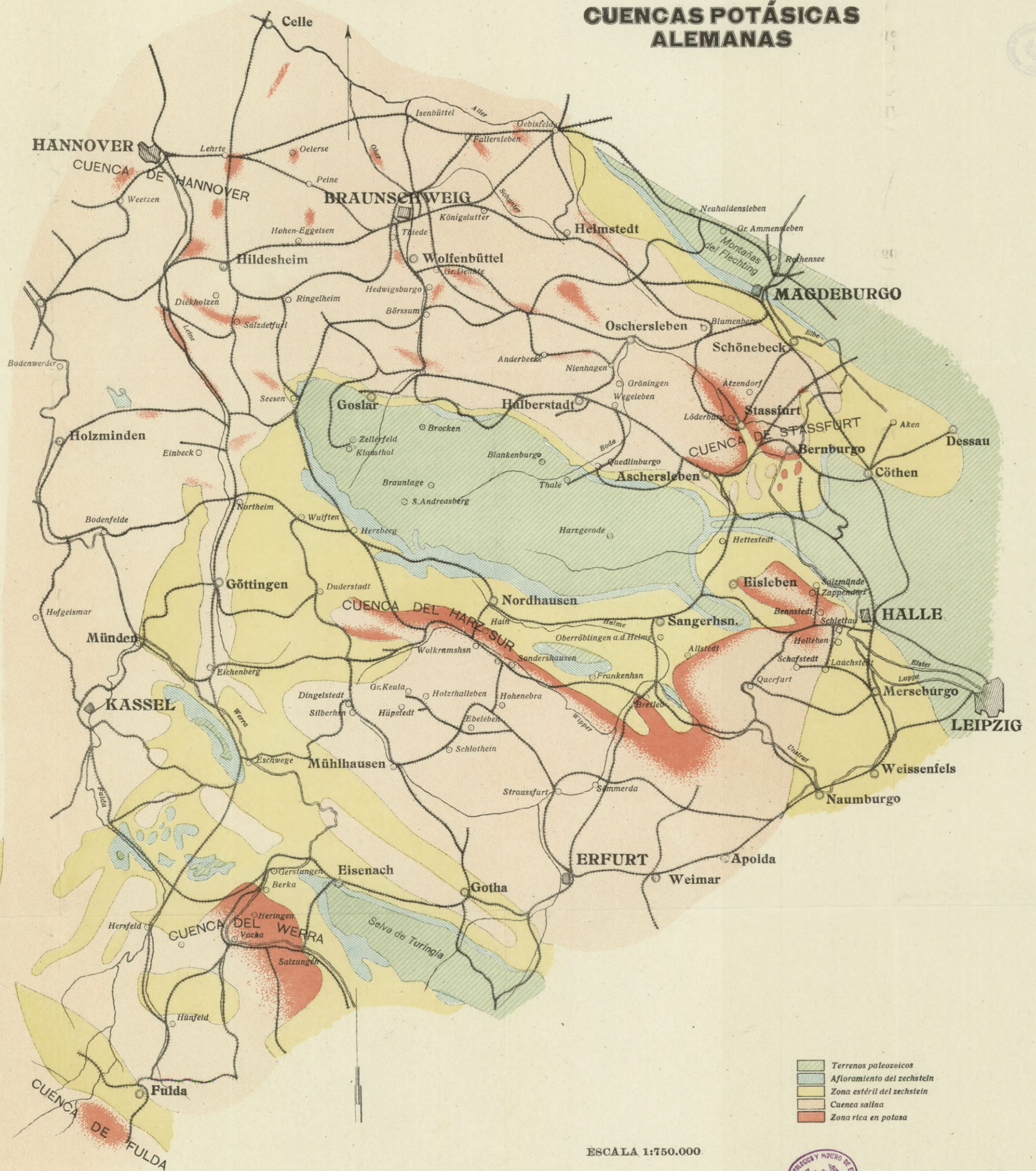
Cuando los pliegues anticlinales se cruzan, se forman cúpulas, fenómeno análogo al que se presenta en Cataluña y que nosotros hemos procurado hacer resaltar.

Como consecuencia de estos pliegues de origen tectónico, se han formado, a mas de otras pequeñas, las tres sierras importantes de Turingia, del Harz y la de Flechting. Sobre ellas se apoya el zechstein, dando lugar a diversas cuencas que han sido intensamente investigadas y cuyos depósitos salinos, en una gran parte de ellos, son objeto de una activa explotación. Accidentes y esterilidades de las cuencas dividen a éstas en varias regiones potásicas con características distintas. A continuación se expresan los diversos distritos potásicos en que según Everding (1) se puede considerar dividida la extensa cuenca alemana y que están representados en la lámina II.

(1) Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze.



CUENCAS POTÁSICAS ALEMANAS



DISTRITOS POTÁSICOS ALEMANES

Cuenca de Magdeburgo-Halberstadt.—Situada entre las sierras del Harz y Flechting. En su parte SE. se halla situado el antiguo distrito de Stassfurt, Egeln y Aschersleben.

Cuenca del Sur del Harz y Turingia.—Se encuentra en la ladera SE. y S. del Harz, entre esta sierra y la meseta de Turingia, recubierta por el triás. Encierra el distrito de Mansfeld, de Querfurt y la parte meridional del Harz hasta Eichsfeld.

Región de Werra.—Situada al Sur de la Turingia y del macizo de Riechelsdorf.

Región del Fulda.—Comprendida entre Rhön y Vogelsberg.

Región de Hannover.—Comprende el pliegue de este nombre y se une al SE. con la cuenca de Magdeburgo-Halberstadt.

Región baja del Norte de Alemania.—Situada al Norte de las montañas de Flechting.

Todas estas cuencas, aunque del mismo origen y obediendo su formación a los mismos períodos geológicos, presentan sin embargo en su constitución algunas dife-

rencias de importancia, tanto en las clases de sales que se encuentran en el criadero, como en las demás características del mismo.

Perfil tipo de Stassfurt

De los estudios realizados por los distintos geólogos, se puede considerar que el perfil tipo de la cuenca que se presenta en Stassfurt es el siguiente, de arriba para abajo:

20 a 30 metros, arcillas rojas macizas con nódulos de anhidrita. En la base se presentan de 0,3 a 3 metros de anhidrita.

50 metros de sal común.

1 a 5 metros, anhidrita con intrusiones de cristales de sal gema.

5 a 15 metros, arcillas rojas macizas con nódulos de anhidrita e intrusiones de sal.

100 a 150 metros, sal común *joven*.

40 a 90 metros, anhidrita principal.

4 a 10 metros, arcilla gris.

30 a 40 metros, región de la carnalita, criadero principal.

20 a 40 metros, región de la kieserita.

40 a 60 metros, región de la polyhalita.

300 a 500 metros, sal vieja.

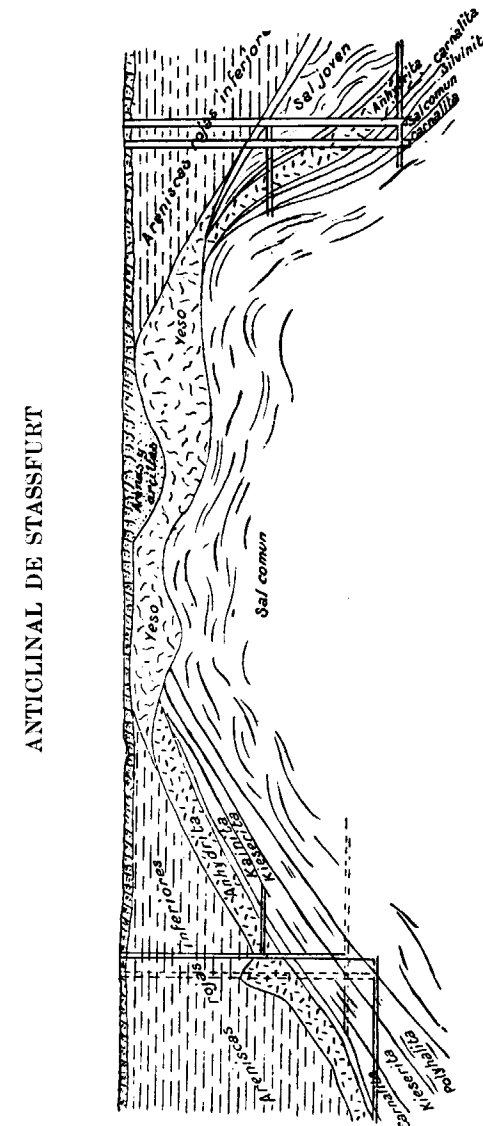
70 a 100 metros anhidrita primitiva con bolsadas de pizarras dolomíticas bituminosas fétidas y con una capa de sal en bolsadas de 1 a 2 metros.

4 a 10 metros, caliza del zechstein.

0,50 a 4 metros pizarras cupríferas, conglomerado.

Las arcillas rojas superiores se consideran correspondientes a la parte más alta del zechstein superior.

Todo el tramo salino, que tiene por base el banco grande de sal vieja, se considera del zechstein superior. El pi-



ANTICLINAL DE STASSFURT

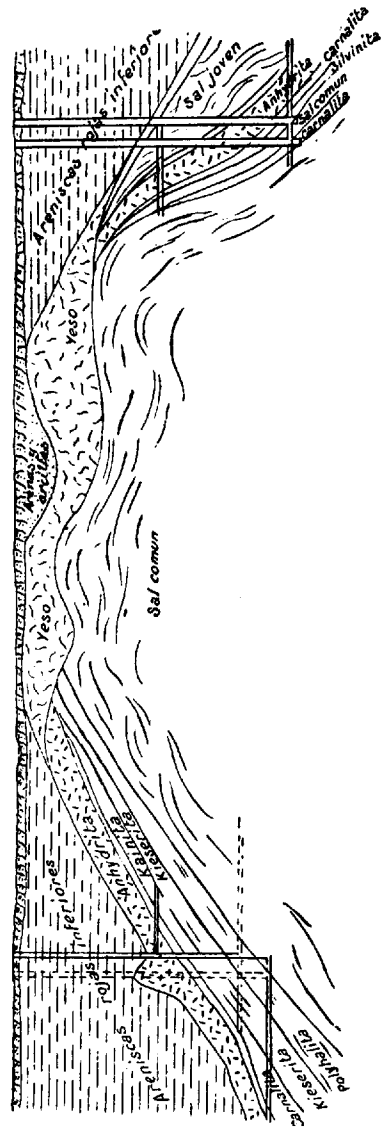


Fig. 3.

so de anhidrita de 70 a 100 metros con bolsadas dolomíticas corresponde al zechstein medio, y los dos últimos de calizas, pizarras y conglomerados al zechstein inferior. Se consideran como sales primitivas del criadero: la sal gema, carnalita, kieserita y polihalita. Todas las demás sales potásicas que se presentan con frecuencia en el yacimiento, como la kainita, sal dura, silvinita, conglomerado salino, etc, se juzgan como sales secundarias procedentes de la alteración de las de primera formación.

El zechstein se apoya en el tramo del permiano llamado rotliegend y éste a su vez en el culm.

En el rotliegend se consideran dos pisos, superior e inferior, el primero de poco espesor. El segundo, aunque de potencia variable y no muy grande, la tiene mayor que el superior.

Encima del zechstein se presentan las areniscas rojas del triás y encima los otros dos tramos de este terreno. En algunos sitios aparece superpuesto al triás el cretáceo, en otros está recubierto por el terciario y en muchos aflora.

Esta sucesión de terrenos representa el proceso aproximado de formación de la cuenca, pero en realidad varía mucho de unos sitios a otros la potencia y el orden en que se presentan los distintos niveles y en muchos sitios hay niveles que faltan por completo.

Muchos accidentes han afectado a la cuenca alemana que provienen de los movimientos hercinianos y alpinos, habiendo ocasionado violentos anticlinales, cobijaduras, etc., que también han influido por acciones secundarias a la alteración en la naturaleza de los depósitos primitivos.

Cuenca de Magdeburgo-Halberstadt

La cuenca de Magdeburgo-Halberstadt es la que pre-

senta un corte vertical más aproximado al que hemos considerado como tipo. Sin embargo, en los bordes de la misma y en la proximidad de los pliegues ya no hay la misma sucesión de estratos. En el borde que se apoya sobre el Flechting desaparece a veces toda la sal joven y vieja y el criadero potásico, y se presenta el tramo de anhidrita dolomítico correspondiente al zechstein medio debajo y en contacto directo con la anhidrita principal; sobre ésta a su vez se apoyan las arcillas del zechstein superior.

En el borde apoyado en el Harz la cuenca presenta una clara cobijadura debajo del culm, produciéndose a consecuencia de este fenómeno muchas fallas y dislocaciones que han traído como consecuencia la desaparición de algunos niveles, observándose el fenómeno de presentarse la sal común sobre las pizarras paleozoicas.

Cubriendo los depósitos triásicos y ocultando sus plegamientos, se presentan varios terrenos. El eretáceo se extiende especialmente en la parte Sudoeste y en otras partes recubren a aquellos depósitos materiales terciarios y cuaternarios. A pesar de ello se reconoce bien la marcha de los anticlinales o líneas de levantamiento hercinianas. Generalmente en los pliegues anchos las ramas presentan inclinaciones suaves y poco afectadas de accidentes, en cambio en el pliegue de bóveda estrecha existen fuertes inclinaciones en sus ramas y éstas han sido objeto de fenómenos de dislocación y desgarramiento internos. Así que se observan en esta cuenca salina y también en las demás, de las que nos ocuparemos después, toda clase de accidentes. Unas veces la falla ha ocasionado un salto y se nota un levantamiento de los estratos junto al borde de la grieta, puesto más de manifiesto en los lechos salinos que en los que no lo son, debido a la gran plasti-

cidad de la sal. En otras, a los dos lados del pliegue, se han abierto dos grietas o fallas y por el esfuerzo de compresión se ha levantado el centro de la bóveda del pliegue, dejando luego la erosión, la sal al descubierto. También ocurre que a consecuencia de que las dislocaciones han sido muy intensas, se han producido grietas, pliegues y toda clase de accidentes que complican la estratigrafía de modo grande.

El manto salino tiene en Stassfurt una potencia de 300 a 500 metros, llegando en algún sitio a 900.

Un accidente geológico importante afecta a esta cuenca. Es el conocido de Stassfurt que pasa por Engeln y que llega hasta Oschersleben dejando aflorar, en ocasiones, hasta los yesos del zechstein. En la figura 3 está indicado este accidente, representado en todos los libros que se han ocupado del antiguo y conocido criadero.

La característica de este accidente es que en la cúpula del anticlinal desaparece el criadero potásico y se pone en contacto directamente la sal vieja con la anhidrita principal. No se presenta sal joven y encima de la anhidrita no se encuentra más que el terciario. Es curioso también observar que en el centro del anticlinal el manto de la sal vieja, por encontrarse plegado, alcanza un espesor grande. A causa del accidente se rompió la capa que cubre al yacimiento salino y los agentes atmosféricos han ocasionado la disolución y transporte de las sales delicuescentes.

Inmediato a la bóveda del anticlinal, en la zona de lixiviación, a uno y otro lado del eje del anticlinal, y en una extensión de unos 30 metros, el criadero principal está alterado, a causa de las aguas pluviales, en kainita; y por esta circunstancia, por analogía a la que se presenta en otras clases de criaderos, se ha llamado a este yacimiento secundario sombrero de kainita.

Al lado del yacimiento de sal vieja se encuentran al Norte y al Sur del anticlinal unas zonas en el manto salino en forma muy particular. En estas zonas no se presentan la sal gema y la kieserita en horizontes alternantes con la carnalita, sino en forma de nódulos enclavados dentro de la masa de carnalita y sal común cristalizadas y de textura fina. Alternan las zonas de nódulos grandes con otras en que éstos son más pequeños. Esta textura y la diferente coloración de los componentes le dan un aspecto muy singular.

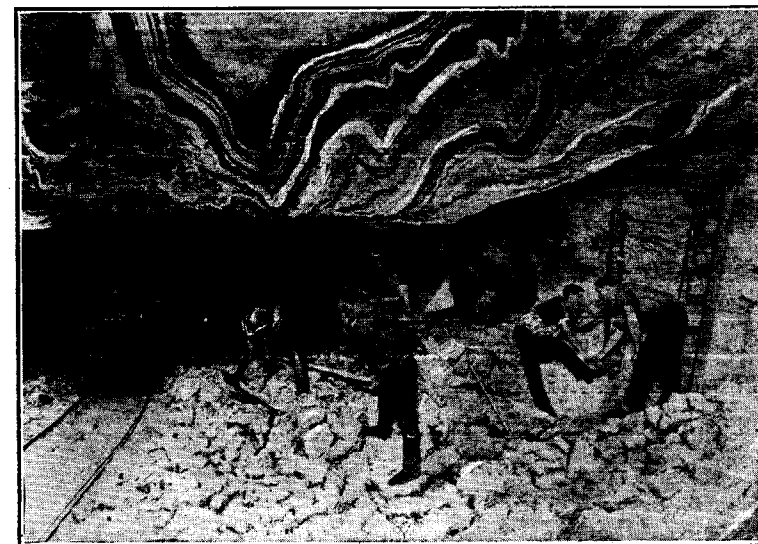
La sal dura se suele presentar en este distrito, en general, en masas lenticulares en el manto principal salino y aun en la arcilla del pendiente, es decir que constituyen la parte alta del manto salino. En la parte inferior de esta zona alta se presentan capitas de sal gema y en su parte superior la proporción de kieserita aumenta, disminuyendo la de cloruro potásico. Estas masas lenticulares llegan a veces a tener 40 y 50 metros de potencia y otras sólo tres metros, pero se puede tomar como potencia media de 10 a 12 metros, como en Neu-Stassfurt.

Los trozos de sal gema que están asociados a la sal dura se diferencian de la sal vieja profunda por su textura laminar muy fina y su fractura tosca, así como por la falta de una estratificación clara.

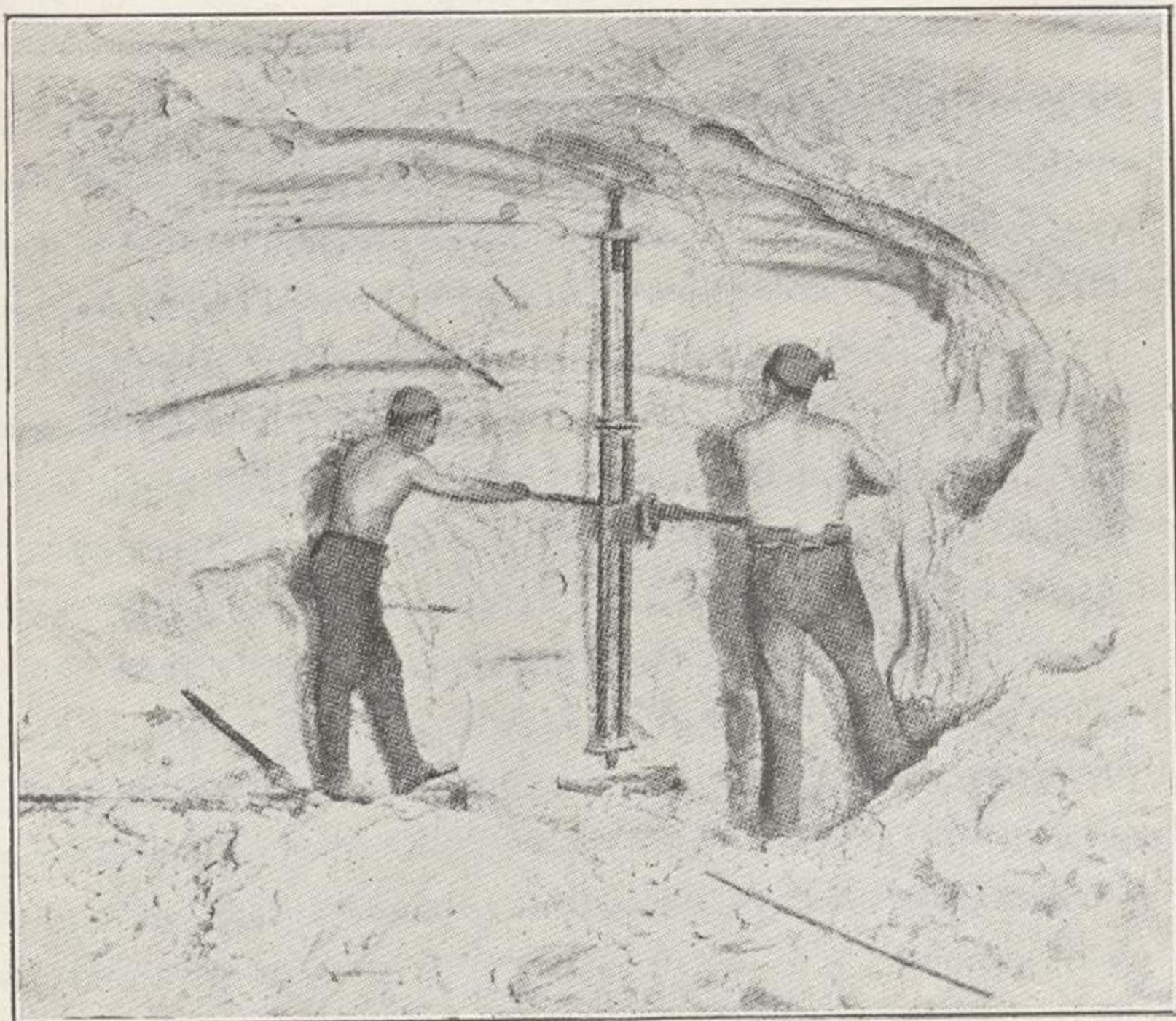
El yacimiento típico de sal dura de Stassfurt tiene una estratificación bien determinada con diferenciación clara de sus elementos. La kieserita se presenta en pequeños lechos de 2 a 5 centímetros de potencia, alternantes con otros de silvino y sal gema de potencia bastante variable. A veces se encuentra también anhídrita y arcilla. En la parte alta del yacimiento de sal vieja pero en zona más baja que el límite inferior de la sal dura se encuentran banquitos aislados de langbeinita que a veces están sus-



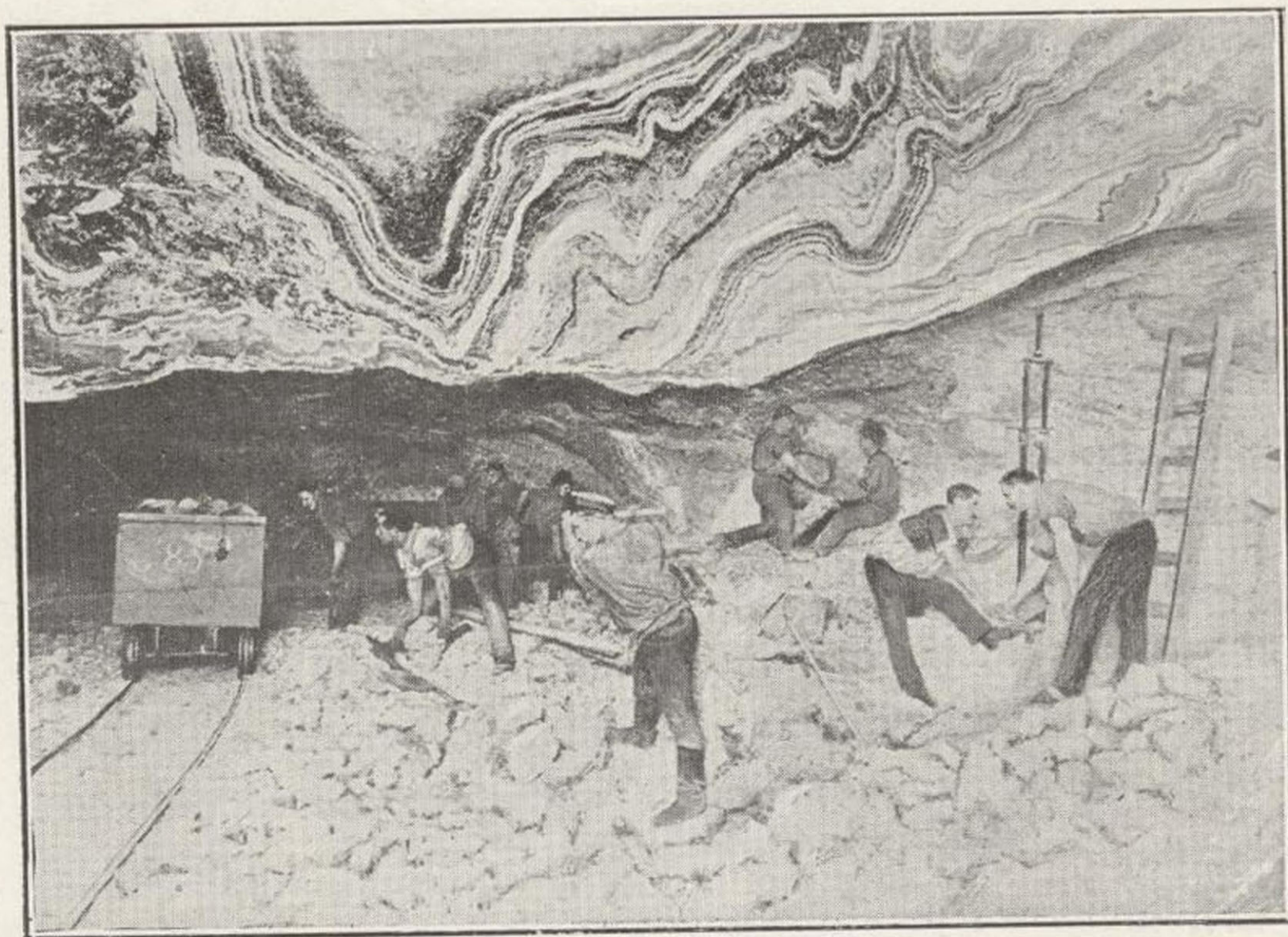
Yacimiento salino en las minas de Gluckauf.



Trabajo en carnalita del criadero de Stassfurt.



Yacimiento salino en las minas de Gluckauf.



Trabajo en carnalita del criadero de Stassfurt.

tituidos por intrusiones de silvino. La langbeinita parece jugar entre la sal vieja y la sal dura análogo papel al que hace la polihalita entre la sal vieja y la zona potásica.

En la parte alta de la sal joven se presenta en el distrito de Stassfurt una capa de anhidrita muy bien caracterizada. En la masa anhidrítica de grano muy fino se presenta sal gema cristalizada en filamentos, dándole una textura muy peculiar y análoga a la de las rocas pegmatíticas por lo que se le suele llamar anhidrita pegmatítica. Constituye un horizonte muy bien definido, de gran valor cuando se realizan investigaciones en la cuenca.

En la cuenca que nos ocupa es interesante también el accidente *Frose-Aschersleben*, menos violento que el de Stassfurt, pero también con desaparición de sal potásica en el centro de la bóveda del pliegue.

Atraviesan a la cuenca diferentes fallas y pliegues en todas direcciones aunque abundan más las hercinianas, pero en las zonas sinclinales, en general, el criadero se presenta con relativa regularidad. En la proximidad de los anticlinales, las fallas se multiplican pero se suelen presentar en estas zonas dislocadas enriquecimientos de importancia.

Formando parte de la cuenca Magdeburgo-Halberstadt se considera la del Norte y Noroeste del Harz, que presenta más parecido con la cuenca del Sur del Harz que con la de Stassfurt. Se presentan como minerales potásicos predominantes la sal dura y el conglomerado salino.

En la mina Hohenzollern se presenta en la parte alta del manto salino una capa de conglomerado potásico que presenta una potencia variable entre pocos metros y 80. La irregularidad es debida a que fué objeto de grandes presiones. Debajo de este tramo de sal dura se encuentra sal gema en un gran tramo con vetillas de conglo-

merado salino y sal dura. Sobre el yacimiento grande de conglomerado hay dos capas de sal dura separadas en una superficie de forma aproximada a un cuadrado de 250 metros de lado por un lentejón de 6 a 8 metros de potencia.

La mina Wilhelmshall se encuentra en un anticlinal del triás y se explota la sal a los lados Norte y Sur del accidente. Inmediatamente debajo de la arcilla del zechstein, se presenta el yacimiento potásico que está formado por un horizonte de sal dura teniendo por yacente sal gema principal. El contenido en kieserita es alto y se presenta en capas delgadas. La de más espesor suele contener de 6 a 8 metros. La potencia total de la capa potásica varía entre 10 y 20 metros, conteniendo alrededor de 16 % de cloruro potásico.

En la mina Hercinia de esta cuenca se ha presentado silvinita dentro de la sal joven del manto salino con un espesor, en algún sitio, hasta de 40 metros. El depósito de silvinita está separado de la anhidrita principal del yacente, por una masa de sal de 30 a 40 metros.

Al NE. de las montañas paleozoicas de Flechting se ha reconocido en Meseberg la cuenca salina y en el pozo N. de la Sociedad Bismarckshall se explota el yacimiento potásico. La prolongación de la cuenca al E. de estos trabajos hasta el mismo Berlín está confirmada por lo observado en Almersleben, Spereberger, etc., pero sin saber a ciencia cierta, si presentará o no, muchas soluciones de continuidad.

Cuenca del Harz meridional

La cuenca del Harz meridional tiene sus límites bien caracterizados; por el NE. se apoya de un modo suave en

las montañas del Harz, presentando las capas de la cuenca del zechstein en esta zona poca inclinación en todo su borde. La cuenca al Sur del Harz se extiende hacia el NE. formando las dos pequeñas cuenquecitas de Mansfeld y Querfurt. Por el Sur se acuesta la cuenca en los terrenos estériles del zechstein. Por el SO. se apoya en las montañas de Turingia, pero aquí en el borde, en contraposición con lo que pasa en el límite Norte, los estratos se hallan muy inclinados y toda la zona marginal se encuentra muy dislocada. Por el NO. la cuenca se extiende hacia el S. de Hannover y Sur de Hesse, pero presentándose antes de la unión con estas cuencas y con la del Harz septentrional unos levantamientos que traen consigo la ausencia de yacimientos potásicos.

Las dos pequeñas cuencas de Querfurt y Mansfeld, de gran interés industrial, están constituidas por sendos sinclinales separados por el anticlinal de Teutschental, en donde se realizó el sondeo en estéril de Soeburg. En este anticlinal, como ocurre siempre, falta la sal potásica y se presenta la sal vieja en contacto con la anhidrita superior y ésta a su vez sirve de substratum al zechstein superior apoyándose en éste el triás. En el centro del anticlinal el espesor de la sal vieja es grande, superior a 600 metros.

En el borde NE. de la cuenca de Mansfeld la sal potásica no existe; sin duda la acción de los agentes atmosféricos ha hecho desaparecer las sales próximas a la superficie sobre todo las muy delicuescentes.

El borde SO. de la cuenca de Querfurt está formado por la rama S. de un suave anticlinal muy abierto, pero que en toda su amplia cúpula, siguiendo la regla general, ha desaparecido la sal y ha aumentado el espesor de la sal vieja.

Al NO. de la cuenca de Mansfeld y separado de ésta por los afloramientos del Rotliegend inferior y por los terrenos paleozoicos se encuentra la zona meridional de la cuenca de Stassfurt.

El zechstein situado por bajo de los terrenos triásicos de la meseta de Turingia no está bien reconocido; sin embargo, por sondeos realizados se supone la existencia de una gran cuenca en suave sinclinal.

En el sondeo de Menzerode se encontró el yacimiento potásico a la profundidad de 940 metros; poco debe hallarse en la meseta a profundidades mayores.

En la cuenca del Harz meridional las sales secundarias tienen una gran importancia. Si partiendo de Stassfurt se pasa a Bernberg y se recorren los sinclinales de Mansfeld, Querfurt y toda la zona del Sur del Harz, se encuentran toda clase de criaderos secundarios. En las minas importantes, como Solvayhall, Johanneshall, Georgeshall, Rossleben, Sondershausen, Bleichroeder y otras muchas, el criadero que explotan se compone casi exclusivamente de depósitos alternantes secundarios de conglomerados y sal dura que conjuntamente con la sal gema recubren la sal vieja. Sin embargo, en muchos sitios se presenta la carnalita. En la mina Glueckauf aparece formando una capa entre dos de sal dura. El espesor de la capa de sal dura es en la cuenca de Mansfeld y en la de Sondershausen de 120 a 200 metros y en el sinclinal de Bleichroeder de 50 a 60 metros. Se ve una divergencia muy marcada entre la sal dura y el resto del criadero. La sal dura no contiene mas que pequeñas intrusiones de kieserita, pero en su límite presenta además del conglomerado salino, kieserita en fibras finas. El criadero de la mina Glueckauf en Sondershausen está representado en la figura 4. La inclinación del criadero es de unos 10° al SO. En el pozo

CORTE ESQUEMÁTICO DE LA CUENCA DE SONDRERSHAUSEN

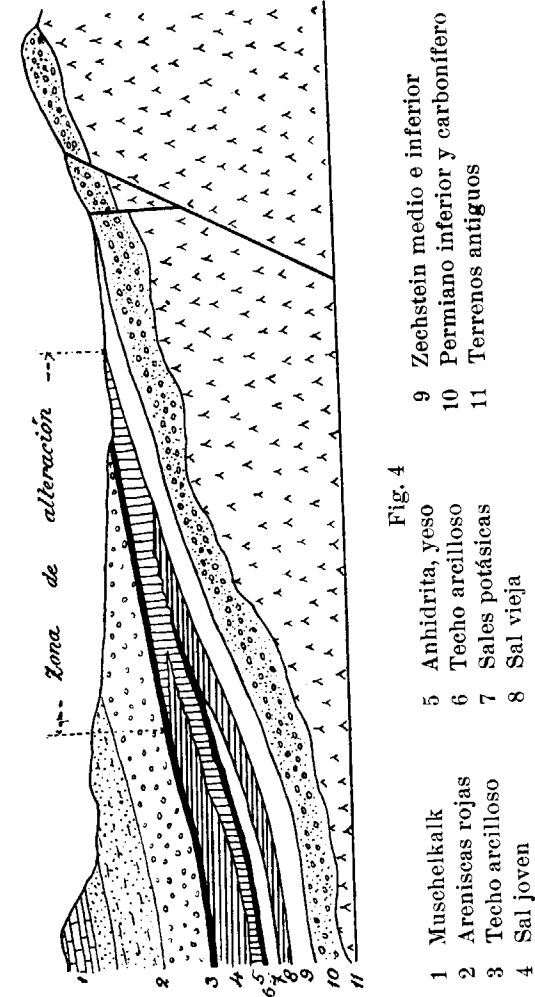


Fig. 4

- | | | | |
|---|-----------------|----|---------------------------------|
| 1 | Muschelkalk | 9 | Zechstein medio e inferior |
| 2 | Areniscas rojas | 10 | Permiano inferior y carbonífero |
| 3 | Techo arcilloso | 11 | Terrenos antiguos |
| 4 | Sal joven | | |
| 5 | Anhidrita, yeso | | |
| 6 | Techo arcilloso | | |
| 7 | Sales potásicas | | |
| 8 | Sal vieja | | |

Bruegman O., N.º 1 de esa mina, la sucesión de los bancos fué la siguiente de abajo para arriba: En la base del criadero salino, calizas del zechstein, zona de 150 a 200 metros de sal común vieja, yacimiento potásico con sal común de 27 metros de potencia, pequeño banco de arcillas muy duras con sal común; 15 a 20 metros de anhídrita; 30 a 40 de sal común joven; 80 metros de arcillas con sal; 20 metros de sal joven con anhídrita; 25 metros de areniscas con nódulos de yeso y arcillas y encima las areniscas rojas del triás. En este pozo falta por completo la carnalita; no así en otros de la misma mina.

Cuencas del Werra y Fulda.

La región del Werra está en general cubierta por las areniscas rojas del triás. En algunas partes se encuentran éstas coronadas, formando pequeñas mesetas, por las calizas del muschelkalk. En la región del SO. se encuentran muchos afloramientos basálticos. Hacia el Norte, en la continuación del Thüringer Wald, se encuentran varios centros de población que deben su existencia a la explotación importante de las pizarras cupríferas. Por el NO. se esconde toda la formación triásica por bajo de los terrenos terciarios del Fulda. El borde NE. de esta cuenca se apoya en la zona del Thüringer Wald, formando la rama SO. del gran anticlinal que viene a constituir la estructura tectónica de esta región. Ese borde bastante dislocado ha sido atacado por los agentes atmosféricos, siendo importante la zona de residuos arcillosos a que ha dado lugar el metamorfismo del criadero salino haciendo desaparecer completamente a éste, como lo atestigua el sondeo de Oberlten.

Es muy probable que toda la región del Werra fuera

invasión por el mar jurásico y así parecen comprobarlo los restos hallados en Niederhenssen. Los terrenos terciarios inferiores se encuentran sólo en la región del Rhôn, mientras que hacia Vacha, el diluvial aparece cubriendo los sinclinales de la arenisca roja, existiendo a veces, intercalados entre los dos, depósitos fluviales del plioceno.

Se acusa la presencia de grandes depósitos salinos en toda esta región del Werra por diferentes razones. Una de ellas es la presencia de muchos manantiales salinos y otra el gran descenso del terreno que se observa en Moehra con una dirección próximamente paralela a la que tiene el Thüringer Wald; descenso que sin duda fué provocado por disolución de la sal del subsuelo.

El distrito cuprífero de la Turingia está atravesado por un gran número de diques de basaltos muy estrechos, con dirección aproximada de N. a S. Estas manifestaciones filonianas continúan en la región de la potasa aunque, ya no como verdaderos filones, sino como fallas con soluciones de continuidad y con la presencia de muy ricos manantiales. Uno de ellos es el de Marksiehl que jalona una de estas líneas de fractura. Los sondeos realizados en esta zona han sido invadidos por aguas de mar de 30 atmósferas de presión y muy ricas en ácido carbónico. Se presenta en esta cuenca el curioso fenómeno de que ciertos basaltos, que no han llegado a la superficie, se presentan en contacto directo con la sal común.

La cuenca del Werra es, entre todas, la que tiene una constitución más peculiar y que, por tanto, más se diferencia del perfil tipo de Stassfurt. Generalmente sobre la sal común, con un espesor de unos 250 metros, descansa una formación potente de 30 a 65 metros, que pertenece al zechstein inferior y que está constituida por capas alternantes de arcillas rojas y pardas. Encima se presenta un

yacimiento salino de 2 a 5 metros de potencia con anhidrita. A este depósito se encuentra superpuesto un horizonte dolomítico de 15 a 25 metros de potencia con bancos potentes de grano muy fino y que a veces contiene anhidrita. El zechstein superior, formado de arcillas rojas con anhidrita, cubre estos depósitos y por último se presenta la arenisca roja del triás. No existe el importante nivel de anhidrita o por lo menos no presenta su facies habitual.

Hay dos niveles potásicos, uno en la parte inferior del zechstein medio y otro en el zechstein superior, el primero de conglomerado potásico y el segundo de sal dura. Tan solamente en el zechstein inferior es donde se pueden ver restos de kieserita. El yacimiento de conglomerado tiene una potencia aproximada de dos metros y presenta tres capas diferentes de silvinita y aun se puede observar una cuarta de espesor más reducido. La riqueza en cada una de las tres capas varía: en la inferior el contenido en cloruro potásico del 10 al 20 % y el de kieserita de 25 a 35 %. La del medio es pobre y en cambio la capa superior contiene de 25 a 40 % de cloruro potásico y tan sólo de 5 al 15 % de kieserita.

El yacimiento de sal dura está separado del de silvinita por un banco de sal gema de 50 a 60 metros de potencia y es menos regular que aquél. La potencia y la constitución del criadero varían mucho en las diferentes minas. En la nombrada Alexander se presenta una capa de 2 a 2,50 metros de potencia de sal dura, teniendo encima un banco de un metro con un 17 % de kieserita y 17 % de silvinita. Más encima se presenta un banco de 20 a 30 centímetros con el 50 % de silvinita y más alto aún una capa de un metro con 10 % de kieserita y 20 % de silvinita.

En los trabajos del pozo de Sachsen-Weimar existen dos capas de sal dura que contienen carnalita en la par-

te alta y que están separadas por un banco de sal común de 80 metros. En la capa superior de unos 3 metros de potencia la carnalita a veces falta y generalmente tiene 0,50 de espesor. La inferior tiene 2 a 3 metros y la capa de carnalita de 0,80 a 2 metros. En el pozo de Grimbert sólo se cortó una capa potásica formada por una veta de sal dura de 2 a 2,5 metros, con una riqueza media del 20 % de cloruro potásico; teniendo encima y sólo separada por una veta arcillosa, la capa de carnalita, a veces con silvinita, con un espesor variable entre 0,50 y 3 metros (por excepción llegó en algún sitio a 5 metros) y con una riqueza de 25 % de cloruro potásico. La sal dura de este criadero en la parte pegada al yacente contiene mucha kieserita.

Es curioso hacer observar el color blanco que tienen en esta región las sales potásicas; en muchos sitios se presentan transparentes.

La cuenca de Fulda está comprendida entre la región del Rhôn y la de Vogelsberg. Se sospechó la presencia del zechstein por bajo las areniscas del triás, a consecuencia de la existencia de los manantiales de Johannishad en Fulda y otros. Efectivamente, los sondeos de Neuhoif al SO. de Fulda cortaron los yacimientos potásicos en condiciones muy análogas a los de Werra, de los que se pueden suponer continuación. En un anticlinal suave de la arenisca del triás, una de sus ramas buza por bajo de la cubierta basáltica hacia Vogelbad y la otra, hacia el Rhôn, siendo recubierta por los estratos del muschelkalk. En la cuenca se presentan una serie de fosas de hundimiento, la mayor parte siguiendo una dirección herciniana, muy marcadamente, la existente en la población de Fulda. Hay además otro sistema de fosas menos visible que la anterior y cuya dirección corta a la de éste en ángulo recto.

En todas estas fosas se encuentran restos de los estratos del muschelkalk, de las pizarras cupríferas y de los depósitos terciarios. Gran número de pequeños diques de basalto rompen la continuidad de los depósitos triásicos y parece que debieron aparecer al mismo tiempo que se formaron las citadas fosas de hundimiento. Estos diques han atravesado en algún sitio el criadero salino produciendo pequeños accidentes geológicos.

Entre Katzenhof y Giesel se ha reconocido por los sondeos denominados Stockhausen y VII una zona estéril por ausencia casi completa del yacimiento salino y desde luego del depósito potásico. Sin embargo el sondeo I encontró casi regular el depósito salino con sus capas potásicas. Al SO. de esta zona el criadero parece presentarse normal aunque profundo.

La sucesión de los bancos es la misma que en el Werra, como que es su continuación. Los depósitos potásicos son aquí aun más irregulares en su presentación que en el Werra y se presentan en vetas y capas y bolsadas dentro de la sal común, aunque **con tendencia a formar** los dos niveles de sal potásica de que hemos hablado al tratar de la cuenca del Werra.

La región del Rhôn está muy dislocada por un gran número de pliegues, fallas, etc. y los depósitos potásicos presentan una gran irregularidad, aunque en general, la sucesión se asemeja a la de las cuencas que acabamos de describir.

Cuenca de Hannover

El distrito de Hannover se puede considerar dividido en dos regiones: Hannover Norte y Hannover Sur. La separación está marcada por el relieve del terreno. La zo-

na Sur es la parte montañosa del distrito, en cambio la parte N. la constituye la llanura propiamente alemana y se puede señalar la divisoria por una línea que pasara por Obersfelde, Gifhorn, Celle, Verden.

La región Sur de Hannover no tiene verdaderos límites que la separen del Harz meridional. Los accidentes geológicos que presenta afectan mucho a la explotación minera de la cuenca. Existen varios pliegues sinclinales en donde han sido reconocidas las sales potásicas como los de Marckollendorf, Ith, Gronau-Alfeld, Innerste, etc. Además existen otras fallas y roturas marcadas en el terreno por las fosas. Hasta el Harz meridional y hasta cerca de Hessen las roturas hercinianas son predominantes, pero al llegar a la fosa de Leinethal empieza a predominar la dirección Norte-Sur. Algunas veces concurren los dos sistemas de fracturas y entonces la tectónica de la cuenca se hace más complicada, como ocurre en la región septentrional.

Cubriendo los fondos de los sinclinales indicados se encuentran depósitos correspondientes al jurásico y al cretáceo a veces en formación transgresiva. Entre unos y otros sinclinales existen anticlinales con aparición de la arenisca roja y del muschelkalk.

En la región Norte del distrito de Hannover se presentan varios anticlinales triásicos, siendo el que en sus ramas ha sido más investigado aquél dirigido de Norte a Sur en donde se hallan las minas Ronnenberg, Deutschland, Hansa-Silberberg y Benther-Berk.

Hacia el Sur desaparece el zechstein y el triás, estando el terreno recubierto por el diluvial. Existe también el cretáceo. Por el N. y NO. se presenta el oligoceno marino.

Los sondeos han servido para reconocer los pilares triá-

sicos, cuyo origen hay que atribuirlo a fallas casi verticales. En algunos sitios, como en las inmediaciones de Wietze en Celle, debido a estos accidentes, se han alumbrado petróleos. El criadero en esta cuenca tiene bastante semejanza con el del NO. del Harz que ya hemos descrito. Existe sal dura y conglomerado salino y en la zona de Ronnenberg se presenta silvinita en la sal joven en análoga forma que en la mina Hercinia.

Cuenca del Norte de Alemania

La cuenca de la parte baja del Norte de Alemania está mal reconocida. Los sondeos llevados a cabo están desordenadamente distribuidos en una superficie demasiado amplia; no dan idea bastante del conjunto de la cuenca. Además, está casi toda recubierta por terrenos sueltos del terciario y cuaternario.

Estando esta cuenca en una fosa promovida por un gran sistema de fallas, es de suponer que los depósitos del zechstein y del triás estén recubiertos por depósitos del jurásico y cretáceo más potentes que en las otras cuencas. Sin embargo, afloramientos de los pilares del zechstein y triás se encuentran en toda esta extensa región. Son ejemplos de ellos, en la parte oriental, el pilar del zechstein de Hohensalza en la provincia de Posen, limitado por dos corrimientos curvos y rodeado de formaciones del jurásico blanco; los yesosos de Wapno cerca de Exin; el de Sperenberg al Sur de Berlín; el de Simenburgo en donde se explota la sal en un pilar permiano rodeado del triás y de creta y otros varios.

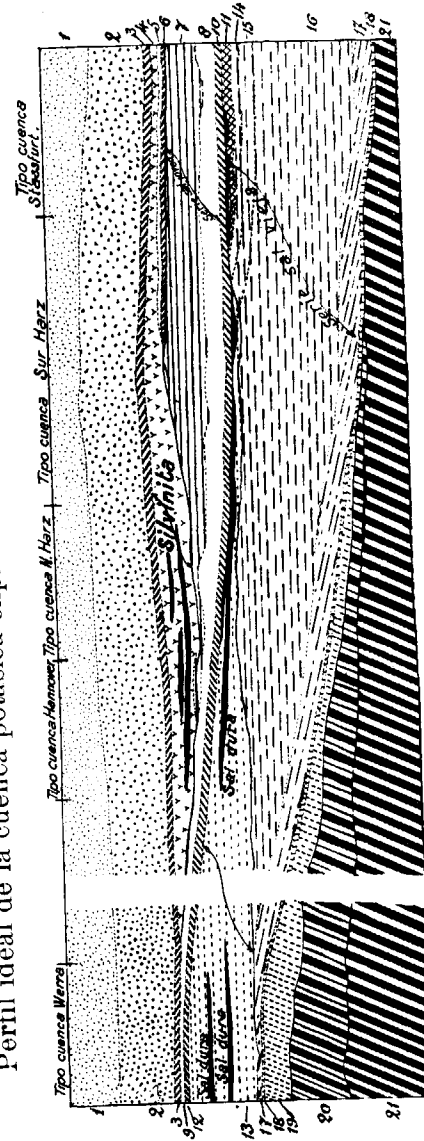
Al Norte de la línea Bremen-Magdeburg-Saboritz-Breslau, en la base del terciario y cuaternario se presentan las formaciones cretáceas y en sitios las jurásicas. La falla en

salto de estas formaciones que se superponen al triás es análogo a la de este último terreno en la región subherciniana y, por tanto, por su estructura parece corresponder esta fosa oculta del Norte de Alemania a la de la parte Norte del Harz y a la de Hannover. También las formaciones secundarias post-triásicas, que en el Sur de Alemania dificultan la explotación del criadero salino, deben ser potentes, aunque se encuentren algunas veces interrumpidas por esos pilares hercinianos y triásicos que acercan la sal a la superficie.

Como resumen se deduce que las distintas cuencas en que se puede clasificar la amplia región potásica de Alemania, presentan grandes diferencias entre sí, aunque las sales primitivas todas se hayan depositado al mismo tiempo. Estas diferencias nacen de la acción de los accidentes geológicos, que han alargado, estrechado, doblado, etc. los estratos del terreno a lo que ha prestado mucha facilidad la gran plasticidad de la sal que a veces parece actúa como un líquido. También nacen esas diferencias del metamorfismo subsiguiente a la acción de los movimientos terrestres pues por su causa se producen fallas y grietas por donde entran las aguas haciendo irrupción en el criadero y alterando y hasta destruyendo el primitivo criadero salino.

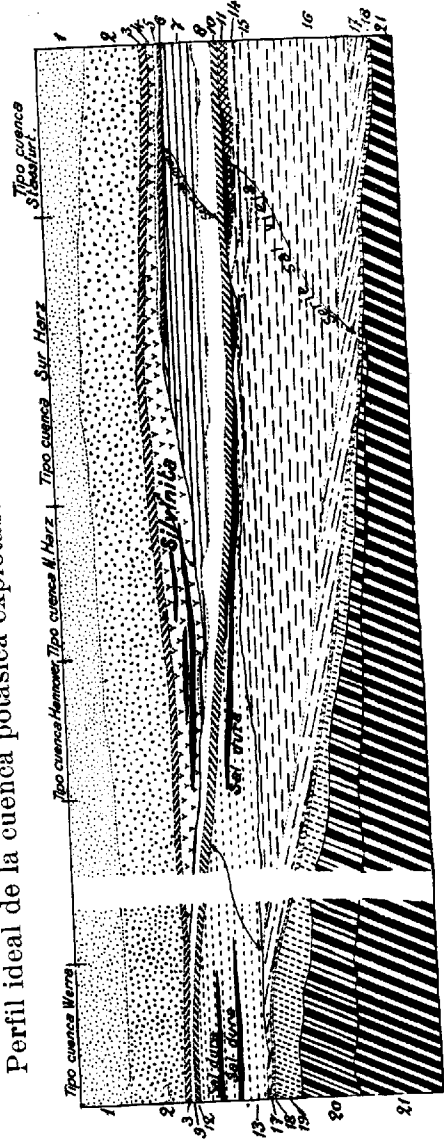
Con objeto de que se puedan apreciar las diferencias entre unas y otras cuencas, Everding las ha representado en el corte normal de la lámina 3.

Perfil ideal de la cuenca potásica explotable de Alemania, según Everding.



- | | |
|----------------------------------|--|
| 1.—Areniscas rojas. Tramo medio. | 12.—Zechstein. |
| 2.—Id. id. inferior. | 13.—Sal vieja secundaria. |
| 3.—Zechstein superior. | 14.—Zona de la kieserita. |
| 4.—Sal joven secundaria. | 15.—Zona de la polihalita. |
| 5.—Anhidrita pegmatítica. | 16.—Zona de la anhidrita. |
| 6.—Arcilla roja. | 17.—Zechstein medio. |
| 7.—Sal joven. | 18.—Id. inferior. |
| 8.—Anhidrita superior. | 19.—Rotliegen superior. |
| 9.—Lajas dolomíticas. | 20.—Rotliegen inferior y carbonífero superior. |
| 10.—Lecho arcilloso. | 21.—Culm y precarbonífero. |
| 11.—Sal matriz. | |

Perfil ideal de la cuenca potásica explotable de Alemania, según Everding.



- | | |
|----------------------------------|--|
| 1.—Areniscas rojas. Tramo medio. | 12.—Zeichstein. |
| 2.—Id. id. inferior. | 13.—Sal vieja secundaria. |
| 3.—Zechstein superior. | 14.—Zona de la kieserita. |
| 4.—Sal joven secundaria. | 15.—Zona de la polihalita. |
| 5.—Anhidrita pegmatítica. | 16.—Zona de la anhidrita. |
| 6.—Arcilla roja. | 17.—Zeichstein medio. |
| 7.—Sal joven. | 18.—Id. inferior. |
| 8.—Anhidrita superior. | 19.—Rotliegen superior. |
| 9.—Lajas dolomíticas. | 20.—Rotliegen inferior y carbonífero superior. |
| 10.—Lecho arcilloso. | 21.—Culm y precarbonífero. |
| 11.—Sal matriz. | |

EL CRIADERO. SALES QUE LO FORMAN

Considerando la pureza de las sales que forman el criadero alemán y la carencia de elementos clásticos, es forzoso atribuir a aquél un origen marino y en general todos los geólogos están conformes en ello. Pero el criadero no está constituido ahora como se formó *in situ*, sino que muchas de las sales primitivas se han transformado y alterado dando lugar a otras especies mineralógicas. A estos minerales de transformación o secundarios los llaman los alemanes *descendientes* que resulta muy de acuerdo con el doble significado que en castellano tiene esta palabra, pues se puede considerar que las sales secundarias descienden de las primitivas y además porque se forman por reacción de lejías que por venir del pendiente del criadero descienden, y dentro del yacimiento tiene lugar el depósito de las nuevas sales.

La transformación de las sales primitivas se pudo hacer en distintos períodos geológicos desde el zechstein hasta la época actual inclusive.

El criadero matriz primitivo estaba constituido por las sales siguientes:

Sal común: Na Cl. Contiene 39,3 de sodio y 60,7 de cloro. Cúbica. Densidad 2. Peso específico 2,162. Se presen-

ta blanca, transparente, pero también las hay de colores rojizo, amarillento, azul, etc. En el criadero hay sal que contiene el 99 % de cloruro sódico. Sus usos son bien conocidos.

Anhidrita. Ca SO_4 . Contiene de Ca O 41,2 % y 58,8 de SO. Rómbico. Dureza de 3 a 3,5. Peso específico de 2,9 a 3,3. Se presenta de colores blanco, rojizo, violeta, etc.

Carnalita. KCl , $\text{Mg Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Contiene teóricamente 26,9 de KCl, 34,2 de Mg Cl_2 y 38,9 de agua. Dureza 1. Peso específico 1,6. Se presenta de muy variados colores, debiendo su variedad de tintes a la mezcla con óxidos de hierro, arcilla, materias orgánicas, etc. Es muy frecuente rojiza. Abunda también la blanca como en el Werra, pero también la hay amarillenta de varios matices, violeta, gris, y hasta negra. Su sabor es muy característico. Es muy difícil encontrarla pura y se presenta entremezclada con la kieserita, sal común y boracita. Pero aun prescindiendo de estas mezclas, a veces el bromo substituye al cloro y es algo frecuente la aparición de minerales raros como el cloruro de rubidio, que tiene hasta el 0,17 %, el cloruro de cerio y algo de litio. Lo que es extraño es que nunca se hayan encontrado indicios de yodo. La carnalita es una de las sales principales de la industria de la potasa; a la mezcla de carnalita con sal común se le llama carnalitita.

Polihalita. 2Ca SO_4 , Mg SO_4 , $\text{K}_2 \text{SO}_4$, $2\text{H}_2\text{O}$. Contiene 45,2 de Ca SO_4 , 19,9 de Mg SO_4 , 28,9 de K SO_4 y 6 de agua. Triclínica. Se presenta con diversos colores: gris, rojo de carne rara vez, blanco o azulado. Dureza 3,6. Peso específico 2,775. Se encuentra en el criadero en lechos delgados generalmente. Un gran yacimiento de esta sal se encontró en Stassfurt junto a la kainita,

Kieserita. Mg SO_4 , H_2O . Contiene 87 % de Mg SO_4 y 13 % de agua. Monoclínica. Dureza 3,8, peso específico

2,573; su color es generalmente claro; se encuentra entremezclada con la carnalita y con la sal común. Este sulfato de magnesia se aplica para el apresto de los tejidos de algodón y para la fabricación del vidrio, y forma parte esencial en el tratamiento de las sales potásicas. Su explotación está ahora en decadencia pero en el período comprendido entre 1882 y 1890 tuvo bastante importancia, llegando la producción en 1887 a 14.187 toneladas.

Boracita. 6MgO $8 \text{B}_2 \text{O}_3$ Mg Cl_2 . Contiene 27 % de MgO , 62,4 % de $\text{B}_2 \text{O}_3$ y 10,6 % de Mg Cl_2 . Cristaliza en el sistema rómbico. Dureza 7. Peso específico 2,57. Generalmente blanca, pero la hay amarillenta y en fractura verdosa, insoluble en el agua. La boracita forma a modo de núcleos y bolsadas dentro de la carnalita. Se separan estas concreciones fuera de la mina y se expenden al comercio con un contenido mínimo de 75 % de borato de magnesia. Se emplea para la fabricación del ácido bórico y otros productos químicos.

Hay también en el criadero matriz indicios de *Douglasita* (2K Cl , Fe Cl_2 , $2 \text{F}_2 \text{O}$) de interés puramente científico.

Las sales secundarias o de segunda formación son:

Kainita. $\text{MgSO}_4 \text{KCl} 3 \text{H}_2\text{O}$. Contiene 48,3 % de MgSO_4 , 30 % de KCl y 21,7 de H_2O . Sistema monoclinico. Dureza 3. Peso específico 2,132. De colores blanco, amarillento, rojizo, gris fuerte y hasta negra y a veces tiene un aspecto marmóreo. Formel le atribuía la fórmula $\text{Mg SO}_4 \text{K}_2 \text{SO}_4 \text{Mg Cl}_2 6 \text{H}_2\text{O}$. Generalmente en el comercio llaman kainita a minerales con contenido importante en sulfato potásico, por lo que se hace muy preciso antes de llegar a una transacción mercantil pedir el análisis.

Después de los estudios de Rammelsberg y van't Hoff la fórmula de la kainita es la indicada al principio de la

descripción de este mineral. Es una de las principales sales utilizadas en la industria de la potasa.

Silvino. KCl . Contiene próximamente 52,35 de potasio y 47,65 de cloro. Dureza 2,2. Peso específico 1,987. La hay de varios colores, con preferencia blanco y rojizo; a veces se presenta en preciosos cristales. Es una de las sales importantes de la industria potásica. Combinada con sal común constituye la silvinita de fórmula no bien definida y la mezcla a su vez de la silvinita con sal común se le llama silvinitita.

Sal dura (Hartsalz). No es realmente una especie mineralógica, sino una mezcla de silvinita con kieserita que contiene además cierta cantidad de arcilla y anhidrita. Generalmente, además de la silvinita, contiene kainita y sal común. Algunos autores le han dado la fórmula $NaCl, KCl, MgSO_4, 4H_2O$, pero como no es una combinación, sino una mezcla, realmente no se le debe dar ninguna, sirviendo solo la fórmula anterior como representativa de su composición más común.

Schoenita. $MgSO_4 K_2SO_4 6H_2O$. Contiene 29,9 de $MgSO_4$, 43,2 de K_2SO_4 y 26,9 de H_2O . Monoclínica. Dureza 2,6. Peso específico 2,034. En Aschersleben y Westeregeln se encontró en cantidad explotable, sirviendo para la obtención de sales ricas en potasa. Se encuentra asociada a la kainita, de donde parece proceder. La leonita es un mineral de análoga composición que la schoenita, pero con solo 4 moléculas de agua.

Se encuentran además las siguientes sales, de menos utilidad industrial que las anteriores o que tan sólo tienen interés científico:

Reichardtita. $MgSO_4 7H_2O$. Peso específico 1,68. Dureza de 2 a 2,5. Se encuentra en Stassfurt, Leopoldshall, Aschersleben y Westeregeln. Es un mineral que perjudica

bastante en el beneficio de la carnalita.

Yeso. $CaSO_4 2H_2O$ contiene 79,1 de $CaSO_4$ y 20,9 de agua. Dureza 2. Peso específico 2,32. Conocidas son sus propiedades.

Glaserita. Fórmula aproximada, $3K_2SO_4 Na_2SO_4$. Este mineral varía en composición de unos sitios a otros. Su contenido en K_2SO_4 varía de 61 a 78 %. Es a veces incoloro y otras amarillento gris blanco opaco. Se encuentra asociada a la Kainita, Langbeinita y Astrakanita en Westeregeln Wilhelmshall y en otras minas nuevas de Anhalt.

Krugita. Del mineralogista Krug von Nidda. Su fórmula es $4CaSO_4 MgSO_4 K_2SO_4 2H_2O$. De colores blanco y gris. Peso específico 2,8. Dureza de 3 a 3,5. Se ha encontrado en la sal joven de Neu Stassfurt.

Langbeinita. $2MgSO_4 K_2SO_4$. Contiene 58 % de $MgSO_4$ y 42 de K_2SO_4 . Dureza 4,2. Peso específico 2,825. Se halló en varias minas de Neu-Stassfurt, Westeregeln, Solvayhall, Aschersleben.

Tachhidrita. $CaCl_2 2MgCl_2 12H_2O$. Contiene 21 de $CaCl_2$, 36,7 de $MgCl_2$ y 41 de H_2O . Dureza 2. Peso específico 1,665. Cristaliza en el sistema romboédrico. Transparente blanco, amarillento y rojizo, delicuescente. Es perjudicial para el tratamiento de las sales potásicas por contener el calcio en forma soluble produciendo precipitados poco solubles que arrastran potasio. Se halla en Vienenburgo.

Bischofita. Del geólogo Bischof. Su fórmula es $MgCl_2 6H_2O$. Contiene 46,8 de cloruro magnésico y 53,2 de agua. Dureza de 1,5 a 2. Peso específico 1,59. Monoclínica holédrica blanca, a veces gris o amarillenta. Hallada en Stassfurt, Leopoldshall, Vienenburgo.

Muy raras en el criadero son las sales siguientes:

Ascharita. $2MgO B_2O_3 H_2O$. Peso específico 2,45. Hallada en Aschersleben.

Astrakanita. $\text{Na}_2 \text{SO}_4 \text{ Mg SO}_4 \cdot 4 \text{ H}_2\text{O}$. Dureza 2,5. Peso específico de 2,22 a 2,98. Composición: 18,58 de sosa, 11,97 de magnesia, 47,91 de ácido sulfúrico y 21,54 de agua.

Glauberita. $\text{Ca SO}_4 \text{ Na}_2 \text{ SO}_4$. Bien conocida en España.

Kaliborita. $\text{K}_2\text{O}, 3 \text{ B}_2\text{O}_3 \cdot 4 (\text{MgO} \cdot 2 \text{ B}_2 \text{O}_3) \cdot 18 \text{ H}_2\text{O}$. Monoclínica: Dureza 4,5. Peso específico 2,13.

Koenenita. $2 \text{ Mg Cl}_2, \text{ MgO Al}_2 \text{ O}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$ hasta $8 \text{ H}_2\text{O}$. Hexagonal: Dureza 2. Peso específico 1,98.

Loewinita. $2\text{Na}_2 \text{ SO}_4 \cdot 2\text{Mg SO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$. Tetragonal: Dureza 2,5 a 3. Peso específico 2,42. Hallada en Neu Stassfurt.

Pinnoitita. $\text{MgO B}_2 \text{ O}_3 \cdot 3 \text{ HO}_2$. Tetragonal. Dureza 3 a 4.

Rinneitita. $\text{Fe Cl}_2 \cdot 3 \text{ KCl Na Cl}$. Hexagonal. Dureza 2,5 a 3. Peso específico 2,35.

Vanthoffita. $3 \text{ Na}_2 \text{ SO}_4 \cdot \text{Mg SO}_4$. Dureza 3 a 3,5. Peso específico 2,7.

Magnesita. Mg CO_3 .

Pirita. Fe S_2 . Hallada en la carnalita.

Azufre.

Hematites $\text{Fe}_2 \text{ O}_3$.

Hierro especular.

Descripción y génesis del criadero

Como ya hemos dicho, está reconocido por todos que la formación de los yacimientos potásicos de Alemania es debida a evaporaciones de aguas marinas temporalmente incomunicadas del mar. Veremos a continuación la semejanza de los depósitos de la cuenca que nos ocupa con los que precipitarían los mares actuales si, variando las condiciones climatológicas, alguno de ellos llegara a la desecación completa. La presencia de los diferentes niveles potásicos y la potencia de los lechos salinos parecen confirmar la hipótesis supuesta por la mayor parte de los



geólogos, de que las entradas del mar en la cuenca fueron intermitentes y que entre una y otra irrupción un clima seco produjo la desecación del gran lago formado y el depósito de las sales que llevaban en disolución. Suponen que debió ocurrir cosa parecida a lo que hoy sucede en el ya citado lago de Kara Boghaz, alimentado temporalmente con las aguas del mar Caspio. En este caso particular existe una barrera o dique que se rompe de tiempo en tiempo, dejando entrar las aguas del mar, produciéndose en los interregnos depósitos de sal. También se pueden explicar estas irrupciones del mar por movimientos del suelo; en los descendentes entran las aguas y en los ascendentes emergen los depósitos retirándose aquéllas.

La parte alta del zechstein inferior es francamente marina aunque de poco fondo, pero todos los depósitos posteriores son ya de origen lacustre.

El agua del mar contiene de 3 a 4 % de sales y próximamente esta proporción debían tener los mares del zechstein que originaron los depósitos salinos de la cuenca alemana. Las sales del mar contenidas en los depósitos de esta cuenca son además de los cloruros comunes: sulfato de cal en la polihalita y en la anhidrita; el cloruro magnésico contenido en la carnalita, el sulfato magnésico contenido en la polihalita y kieserita y los carbonatos de cal y magnésico. El orden en que se habrán depositado en cada una de las épocas en que el lago se desecaba debía ser el mismo en que se encuentran en el yacimiento y sobre esto daremos cuenta de lo que se ha podido observar al efecto. Los carbonatos serían los primeros en depositarse, pues aunque los elementos dolomíticos son solubles en aguas cargadas de ácido carbónico, lo son mucho menos que los demás elementos arriba expresados. Así pues en todo yacimiento salino de origen marino en la ba-

se del criadero y formando su yacente debe encontrarse un lecho dolomítico y así ocurre en el que nos ocupa.

Inmediatamente debe precipitarse el sulfato de cal, y para que éste lo haga en forma de anhidrita y no de yeso, como ocurre en Alemania, se exige una temperatura muy elevada y aguas muy cargadas de cloruro sódico. A los depósitos de anhidrita deben seguir los de cloruro sódico. En los yacimientos potásicos que nos ocupan, se hallan en la base del criadero los grandes depósitos de sal común que los alemanes denominan *vieja* y que se caracteriza porque suele contener de 93 a 94 % de cloruro sódico y 6 a 7 % de anhidrita y arcilla; generalmente es de color blanco o gris, sin presentar las coloraciones rojizas que suelen encontrarse en la llamada *sal joven* o en las sales secundarias. Por último, su textura es de grano grueso en cristales, lo que da una fractura generalmente plana, rara vez granulada. La potencia del banco de *sal vieja* es muy grande en general.

Una vez depositadas las sales de calcio, arriba citadas, y las grandes cantidades de cloruro sódico, quedan unas aguas sumamente concentradas a las que se les da el nombre de aguas madres y que contenían, además del cloruro sódico, cloruro potásico, cloruro magnésico y sulfato magnésico y es indiscutible que para que estas sales se precipitaran tenían que estar aisladas del mar a causa de esa barrera que debió existir entre éste y el lago formado.

El cloruro magnésico es el elemento más fácilmente soluble. Su presencia determina principalmente la manera de efectuarse las precipitaciones, y es el elemento que más ha influido en la forma en que se nos han presentado los criaderos alemanes. En efecto, de todos los estudios realizados por los técnicos alemanes se deduce, que debido a la presencia del cloruro magnésico en las aguas,

el cloruro potásico no se precipita como sal sencilla o sea en forma de *silvino*, sino como sal doble, o sea en forma de *carnalita*, y que el sulfato magnésico no se precipita como sulfato ordinario, o sea en forma de *sal amarga* o *epsomita*, sino como monohidrato, o sea en forma de *kieserita*. Se ha podido comprobar que para que se forme *carnalita*, que es la sal potásica primitiva del criadero alemán, se precisa que a una temperatura que no llegue a 73°, las aguas madres contuvieran por lo menos 25 % de cloruro magnésico; y para que se produzca *kieserita* hace falta que no pasando el límite indicado de temperatura las aguas madres contengan por lo menos 29 % de cloruro magnésico.

En el caso de que las aguas no contuvieran la cantidad de cloruro magnésico indicada se podría precipitar aún a temperaturas inferiores a 73° *silvino* y *sal amarga*, o sea *kainita*, y si se precipitara el sulfato magnésico con el *silvino* se podría formar *sal dura*, pero con aguas análogas a las de los mares actuales, esto no puede suceder porque la cantidad de cloruro magnésico es mucho mayor que las de las sales potásicas. Según Precht, de muchos análisis de aguas del mar, ha deducido que para 100 partes de cloruro magnésico hay unas 15 de cloruro potásico. Es decir que suponiendo los mares de *zechstein* con parecida composición a los actuales, no cabe dudar que las aguas madres tan cargadas de cloruro magnésico sólo precipitarían *kieserita* y *carnalita* juntamente con la sal común.

Si nos fijamos en el criadero, según se presenta en *Stassfurt*, que hemos considerado como tipo, observamos que en la base, se presenta la *polihalita* a veces alternante con la *anhidrita*, es decir, minerales sulfatados menos solubles que los cloruros. Encima se hallan sales de *kieserita*, *car-*

nalita y halita en capas alternantes en estratificación confusa, es decir, que se debieron precipitar las sales del criadero de un modo análogo a lo que ocurre con la desecación de los mares actuales a temperaturas que no pasan de 73°, pero sin que el orden y sucesión de las sales sea exactamente igual.

Todos los químicos y geólogos alemanes, con Oxenius a la cabeza, juzgan que los criaderos de Alemania son de origen marino y consideran como sales de primera formación la carnalita, la kieserita y la sal común, y su alternancia se debe a variaciones de temperatura. Consideran que las características de un criadero potásico marino son: 1.º depósito sucesivo de sales en relación con sus curvas de solubilidad; 2.º predominio de la sal doble de cloruro potásico y magnésico en el criadero; 3.º falta de aportaciones detríticas y 4.º estructura en capas. Estas condiciones las llena bien el criadero alemán, pero sin embargo, se le puede hacer algunas observaciones. Es la primera, ya notada por los alemanes, que la kieserita es inferior en el yacimiento a la carnalita, y dada la solubilidad de las sales de magnesia debía suceder lo contrario. Respecto a las aportaciones detríticas juzgamos que nada tendría de particular que al lago, temporalmente, pudieran concurrir materiales arrastrados por vientos y aguas, siempre que las aportaciones de estas últimas fueran en mucho menor cantidad que las evaporadas. Y por último respecto a la estructura en capas, pueden ocurrir en el criadero alteraciones secundarias y metamorfismos que alteran la clara ordenación de los estratos y por consiguiente que la ausencia de esta condición no implique necesariamente el que no se trate de un yacimiento marino.

Se juzga que las sales que forman el yacimiento potásico alemán, carnalita, sal gema y kieserita entran próxi-

mamente en la siguiente proporción 55, 28 y 27 %. Las demás sales que entran en el yacimiento se consideran secundarias o de segunda formación.

A pesar de estas opiniones se comprende, por lo que hemos manifestado, que el origen y formación del criadero alemán se presenta todavía muy confuso, habiendo muchas hipótesis para explicar las anomalías que se presentan.

Walter ha llamado la atención sobre la circunstancia de que en el embalse del agua del mar en cubeta aislada empiezan poco a poco, al evaporarse el agua, a depositarse sales de calcio y de sodio, mientras que las sales de magnesia y potasa se encuentran en las partes hondas. Puede suponerse, por tanto, que la cubeta del zechstein fué reduciéndose; lluvias torrenciales accidentales pudieran disolver las sales depositadas en las orillas y llevarlas a las depresiones del fondo y mezclarlas con las legías profundas, y por consiguiente ya el agua que deposita, por desecación, el criadero no es un agua del mar normal, sino una enriquecida con las sales de la periferia. Después, por diferencias de temperaturas y por otras causas se puede explicar el origen de muchas sales. Sin embargo, la formación de otras, como la sal dura, langbeinita, boracita, etc. de las que se presentan en el criadero exigen tan altas temperaturas que no puede admitirse geológicamente se hayan formado en cubetas de ese género.

Rinne para explicar estas temperaturas elevadas las supone geotérmicas producidas por el recubrimiento. Dice que de este modo se puede haber llegado a la fusión de algunos minerales formando lejías especiales y que luego por acercarse los estratos a la superficie a causa de los levantamientos tectónicos han podido dar lugar a otras sa-

les. Lachmann se ha ocupado mucho de este metamorfismo termo-dinámico así como los discípulos de Rinne, principalmente Jaecken. Fulda refuta esta teoría alegando que para la fusión de algunos minerales, como por ejemplo la bischofita y la kainita, se necesita una temperatura de 117° que implica un recubrimiento de 3.500 metros, cosa inadmisibles en los distritos del Harz meridional y del Werra. Por consiguiente, para explicar la diversidad de constitución de los criaderos alemanes, es preciso admitir procesos muy diferentes de transformación descendente, con una porción de alteraciones por metamorfismo dinámico y térmico, ya en la época del zechstein, ya en épocas geológicas posteriores.

El criadero salino está recubierto por un manto arcilloso que se presenta en toda la cuenca con una gran irregularidad; oscila la potencia de este manto entre 0 y 12 metros y se compone de tres lechos diferentes. En el inferior predomina la arcilla anhidrítica y suele encontrarse un 2 % de sal común, 0,8 % de cloruro potásico y 4,5 por ciento de cloruro magnésico. En el lecho medio predomina la arcilla sabulosa y suelen presentarse, con gran profusión, diminutos fósiles marinos. En el lecho superior predomina la arcilla dolomítica.

Durante la última fase de la formación del criadero potásico empieza un movimiento de emersión de la cuenca conjuntamente con la barrera y con aportación de loess y para la formación de los estratos se unen a las precipitaciones sedimentarias con su proceso de metamorfismo y alteración, el depósito de los polvos debidos a los temporales eólicos. La emersión continúa durante la formación del primer lecho de los tres que hemos dicho forman el pendiente del yacimiento y sigue hasta el nivel medio. Durante este período la superficie terrestre per-

miana se convierte en un verdadero desierto de arena.

Durante el depósito de la parte alta de este nivel medio se termina la emersión y se prepara en el movimiento de descenso la inundación de aguas marinas que cubren los depósitos eólicos; pero durante la formación del lecho superior concurren a su formación los depósitos eólicos y los sedimentarios precipitándose los carbonatos; primera fase de todo depósito de sustancias salinas. Existen además depósitos de arcilla que pueden provenir de metamorfismo de la sal joven. Resulta, por tanto, que el manto arcilloso que nos ocupa es la capa divisoria del yacimiento de sal vieja con sus sales potásicas en la parte alta y del de sal joven, representando la parte baja del manto el último proceso de la formación de la sal vieja y el lecho superior, el primero de la formación de la sal joven, y el lecho intermedio del manto, el punto culminante de la emersión del yacimiento e iniciación de la inmersión subsiguiente.

Recubre a este manto arcilloso una capa de anhidrita y encima de ésta se encuentra la sal llamada joven sin potasa. **La capa de anhidrita** tiene un espesor de 40 a 80 metros y se presenta **en casi toda la cuenca** alemana con gran regularidad. Sin embargo en algún sitio, como al Norte de Hannover, falta por completo, y en otros, como en el distrito de Werra, toma una facies muy especial.

Naturalmente que para concebir que se vuelvan a precipitar otra vez anhidritas y sal común, es preciso acudir otra vez a la hipótesis de que después que las aguas hicieron irrupción sobre los depósitos arcillosos, una nueva barrera comunicó éstas de las del mar y empezó por efectos del clima un nuevo período de desecación.

Encima del banco de anhidrita se presentan los bancos de sal gema joven. En Stassfurt presentan 150 a 200 me-

tros en dos grandes capas separadas por bancos de arcillas y anhidrita. La sal joven se diferencia de la sal vieja en que su textura es de grano más fino y por su pureza, pues oscila su contenido en cloruro sódico entre 96 y 99 por ciento. También tiene otros caracteres que la diferencian de la sal de los lechos inferiores, uno de ellos son los *jahrrings*. En la sal joven no están tan bien definidos como en la vieja y además están constituidos por anhidrita y polihalita, mientras que en la vieja predomina la anhidrita. Además en la sal joven la fractura es áspera y presenta frecuentemente la coloración roja indicando que se depositó en un mar menos tranquilo que la sal vieja que es siempre de color blanco o gris.

La anhidrita pegmatítica, de la que hemos hablado en otro lugar, separa la sal joven de la llamada ultra-joven; sales ambas que, por caracteres mineralógicos, son imposibles de distinguir. En la sal joven sólo por excepción se presenta la sal potásica y para explicar la ausencia de esta última los alemanes emiten dos opiniones; unos consideran que la sal no se llegó a precipitar porque cambiaron las condiciones climatológicas y topográficas en que se verificaba la desecación y se interrumpió ésta cuando aun no se habían formado las aguas madres. Otros atribuyen la falta de la sal potásica en la sal joven a que las aguas que han llegado al criadero de sal joven han disuelto las sales potásicas mucho más solubles que las otras que componen el criadero.

Encima del manto salino, considerado como del *zechstein* superior, se presentan las arcillas rojas, que se considera el nivel más alto de este tramo. Superpuestos a él se encuentran los depósitos triásicos, generalmente las areniscas rojas del tramo inferior.

En líneas anteriores hemos definido el criadero potási-

co alemán tal como se debió constituir y de acuerdo con las teorías en aquel país predominantes; ahora resta examinar qué metamorfismos y alteraciones han sufrido para que llegue a nosotros en la forma en que ha sido hallado.

Según Harbort las sales que constituyen el criadero se pueden agrupar del modo siguiente:

- 1.º Primarias. 2.º Secundarias formadas por disolución, redisolución, transporte y reprecipitación de las primeras. 3.º Las procedentes de metamorfismo dinámico que están producidas por el descenso y recubrimiento progresivo en los grandes geosinclinales. Puede aumentar la temperatura de tal forma que es posible llegar a la fusión de los minerales y cristalizar éstos después en forma diferente. 4.º Los póstumos por metasomatismo originados por leñías descendentes. 5.º Los materiales salinos que toman la forma de brechas formadas en las orillas y que se producen por presiones de la masa salina sobre los bordes del criadero, y 6.º Minerales residuales de las aguas madres, como el yeso y las calizas dolomíticas.

En los afloramientos del yacimiento salino viejo, éste ha sufrido grandes alteraciones. Éstas son debidas a que las aguas pluviales atacan el criadero, disuelven las sales y dejan como residuo yeso, que se ha reconocido en la superficie. También inferiores a los estratos diluviales se han encontrado depósitos yesosos y debajo sal vieja. Es decir que el yacimiento salino joven y parte del viejo han sido disueltos. Parece confirmar esta idea el hecho observado de que casi siempre la superficie divisoria entre la zona alterada y la que no lo está es un plano horizontal.

Es curioso hacer observar que en Stassfurt la potencia de las capas de yeso no está en relación con la de anhidrita que las ha producido. Es mucho mayor la cantidad

de yeso que se encuentra que la que debía haber, aun contando con el aumento de volumen; y esto se explica porque no sólo se ha convertido en yeso la anhidrita de las capas de este mineral, sino también la contenida en los *jahrrings*.

La sal común en los afloramientos suele presentarse incólume o sufriendo poca alteración.

La presencia de la kainita en el criadero se explica porque aguas en contacto con el yacimiento disuelven el cloruro magnésico de la carnalita como sal más soluble y transforman la kieserita en sulfato de magnesia hidratado y por tanto, este sulfato unido al cloruro potásico que queda libre en la carnalita, han constituido la kainita. Como la sal común no se altera, se presenta unida a la kainita formando una mezcla que algunos han llamado kainitita.

La formación de la sal dura es debida a una detención en el proceso de la kainitización debido sin duda a que las aguas, por estar menos en contacto con el criadero, no han llegado a hidratar la kieserita y sólo han actuado sobre la carnalita, disolviendo el cloruro magnésico y por consiguiente se obtiene, con la desaparición de esta sal, una mezcla de cloruro potásico y kieserita que es lo que se llama sal dura. Muchas veces esta sal se presenta junto a la kainita lo que demuestra que constituye un estado intermedio de la formación de esta sal. Generalmente, la kainita como la sal dura en las alteraciones sufridas en los afloramientos del criadero alcanzan poca profundidad, es decir que la temperatura a que se formaron debió ser pequeña, lo que coincide con lo manifestado por van't Hoff, que da para la formación de la kainita una temperatura inferior a 73°. Precht admite entre el depósito del manto potásico y la formación de las sales superiores

un período de calma en la cual las partes superficiales pudieran ser lavadas con aguas que disolvieron el cloruro magnésico y formaron sal dura. Sin embargo, como para precipitarse la kieserita y el silvino se exigen temperaturas superiores a 73° (porque si son inferiores dichas sales se depositan en forma de kainita), no parece probable este origen pues es difícil atribuir a aguas superficiales temperatura tan alta. En general, la formación de la sal dura hay que atribuirla a la acción de aguas que han llegado al *criadero* a través de fallas.

El conglomerado salino, que en Stassfurt y Egelu se presenta cerca del anticlinal principal, es debido también a una acción secundaria y se forma por redisolución de las sales del yacimiento y en los huecos a que esta operación da lugar, se precipitan las sales aportadas por las aguas. El origen de este conglomerado salino es el mismo que ocasiona la formación de sal dura, solamente que esta última es debida a lejías que alteran al criadero obrando en calma, mientras que el conglomerado se produce por acción mecánica y química de aguas que invaden y atacan al criadero rápidamente. De este modo se explica bien la forma nodular en que aparecen la kieserita y sal común dentro de la masa de carnalita.

La silvinita se la considera como producto de última alteración, es decir que del criadero han sido robados todos los elementos magnésicos y sólo quedan los cloruros potásico y sódico. Se presenta generalmente en bolsadas y en la zona de afloramientos se suele presentar en pequeñas cantidades dentro de la sal, unas veces pura, otras de color azulado, etc.

De todo lo manifestado se deduce que el proceso de la formación de las sales secundarias es análogo al que se ha seguido en la constitución de otras rocas, como grau-

vacas, areniscas, etc. pero con la diferencia de que la alteración y formación de nuevas sales se hace de un modo mucho más rápido a consecuencia de la gran disolubilidad de éstas.

Se supone que la sal dura y el conglomerado salino se forman fuera del criadero principal, pero dependiendo de éste, y así se puede explicar que en la parte alta del yacimiento se presente tanta diversidad de rocas y tantas variaciones en la constitución química, pues legías ascendentes sólo en esa parte alta variarían sus precipitaciones a causa de la diferencia de presión. Eso explica también que los conglomerados salinos se presenten frecuentemente en la parte alta del criadero, en forma de escalera y que exista conglomerado en la anhidrita que recubre la sal antigua. En Sondershausen se aprecia una discordancia muy bien marcada entre la sal dura secundaria y el resto del criadero que es un ejemplo más que confirma el aserto anterior, aunque realmente esa separación se presenta de modo tan radical que da lugar a dudas.

Cuando el criadero presenta las sales secundarias en bancos bien definidos, el más inferior de todos suele ser sal gema pura de segunda formación y muy diferente de aspecto a la sal vieja, sobre todo por su textura.

Ya hemos indicado anteriormente la duda que existe sobre la explicación acerca de la ausencia de sales potásicas en la sal joven de los yacimientos alemanes; ¿no se llegó a depositar? ¿Se depositó y fué lavada posteriormente? Ya hemos indicado que al NO. del Harz y al Norte de Hannover se ven algunas sales potásicas, principalmente silvinita, que pueden hacer creer en la existencia del criadero potásico joven, y al examinar la forma de presentarse estas sales y su naturaleza surge otra nueva duda, con-

secuencia de la que hemos formulado anteriormente ¿se trata de sales primitivas o secundarias?

La silvinita se presenta en estos yacimientos como un aglomerado de silvino y sal común, pero en elementos muy finos que por su aspecto se parece mucho a la sal gema, tanto que sólo persona muy práctica puede diferenciarlas entre sí, gracias al aspecto opalino y turbio del silvino. En general, el cloruro potásico que contiene oscila entre 20 y 40 % y el color es blanco, otras veces ligeramente rojizo y en algún sitio rojo pardo.

En general atribuyen origen secundario a las sales potásicas del manto salino joven, representando la silvinita el último producto de muchos cambios partiendo de la carnalita, y muchos consideran que la sal primitiva procede del yacimiento salino viejo. No cabe duda que en apoyo de la teoría de este origen secundario de la sal potásica joven hay una razón de importancia, y es que estas sales jóvenes se presentan en regiones muy afectadas por movimientos tectónicos y en donde existen en gran número fallas, roturas y deslizamientos de las masas salinas, como en Ronnenberg y en Vienenburgo.

La cantidad de sal potásica existente en el criadero alemán se considera inagotable. Según Harbort la extensión de la cuenca pérmica es de unos 200.000 kms.² La potencia varía entre pocos metros y 50, pudiéndose considerar como media de 10 metros con un contenido medio en K₂O del 15 %. Resultará, por tanto, que en los 200.000 kms.² habrá 34×10^{11} toneladas de K₂O y suponiendo que sólo se tome un 10 % como explotable de esa cantidad, atendiendo a las esterilidades y fallas del criadero y a que parte de él se encuentra a profundidad superior a 1.200 metros, que es la que se puede considerar como límite de explotabilidad, resultarán 34×10^{10} toneladas de K₂O,

o sea una cantidad que prácticamente es inagotable.

Estima Matignon la superficie total de la cuenca en 1.500 kms² y considera una potencia de 56 millones de toneladas por km² y una ley media en K₂O de 10 %. Resultará que la ubicación de la cuenca será de $0,84 \times 10^{10}$ toneladas de K₂O. Esta cantidad asegura el consumo actual del mundo durante 7.500 años.

Oschenius indicaba que dicho consumo estaba asegurado durante 600.000 años.

CAPÍTULO IV

CUENCA POTÁSICA ESPAÑOLA

CONSIDERACIONES GENERALES

La cuenca potásica catalana está comprendida dentro de la gran mancha terciaria lacustre que ocupa parte de las provincias de Barcelona, Lérida y Tarragona, en Cataluña, gran parte de las tres que constituyen el reino de Aragón y una pequeña zona de Castilla la Vieja. Es esta mancha una de las varias lacustres que se presentan en el centro de la Península Ibérica, ocupando gran parte de su extensión.

La edad de los depósitos terciarios que las constituyen ha sido objeto de algunas dudas, motivadas principalmente por la ausencia de fósiles y por la falta de caracteres petrológicos característicos. Sin embargo, en sus estratos se han hallado algunos mamíferos en varias de las manchas, como en las de las provincias de Madrid, Palencia, Teruel y otras, siendo los fósiles más comunes el *Mastodon longirostris* (Kamp) y el *Hipparion gracile* (Kamp), característicos del mioceno, y por esta causa en los mapas geológicos españoles se han representado, por generalización, como de esta edad todas las manchas terciarias lacustres del centro y levante de la Península.

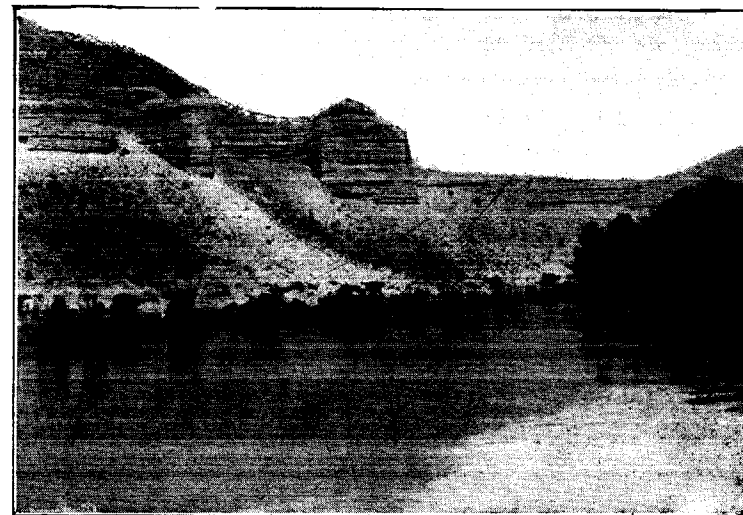
Nace principalmente la confusión acerca de la edad de

los estratos terciarios lacustres españoles, en que una vez empezada la emergencia de las capas eocenas desde el fondo de los mares, hasta que éstas se elevaron a 2.000 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, como ocurre en los Pirineos, el régimen en la Península fué el mismo: formación de grandes lagos y depósitos de potentes estratos lacustres. Y en este régimen transcurrió el período oligoceno y gran parte del mioceno, sin que exista diferencia alguna entre las dos edades, haciendo difícil y hasta arbitraria la separación en grandes grupos de los depósitos formados en toda esta época de la tierra. Hay que recurrir para sincronizar estos estratos con los de otras formaciones a los caracteres paleontológicos, y éstos son muy escasos.

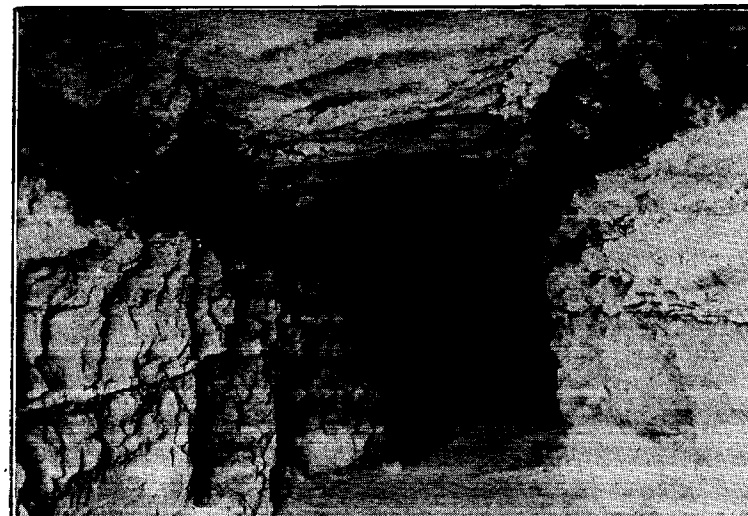
Además de los fósiles miocenos citados y que han servido para determinar la edad de algunas manchas terciarias, se han hallado otros oligocenos que han servido para clasificar una parte de los depósitos lacustres que constituyen la gran mancha del Ebro.

Los Sres. Bofill, Deperet y Vidal, descubrieron en las provincias de Barcelona y Teruel una fauna oligocena muy interesante en Calaf y Tárrega, constituida principalmente la primera por los mamíferos *Ancodus Aymardi* (Pomel) y *Diplobune minor*, y por los moluscos *Melanoides albigensis* (Noulet) y otras especies de este género, y la de Tárrega por los mamíferos *Brachiodus Cluac* (Vidal y Deperet); el roedor *Therydomys siderolithicus* (Pictet); el carnívoro *Plesictis Filholi* (Vidal y Deperet); un *Amphicyonide*, el reptil *Chrysemis Lachati* (Sauvage), peces, moluscos y vegetales.

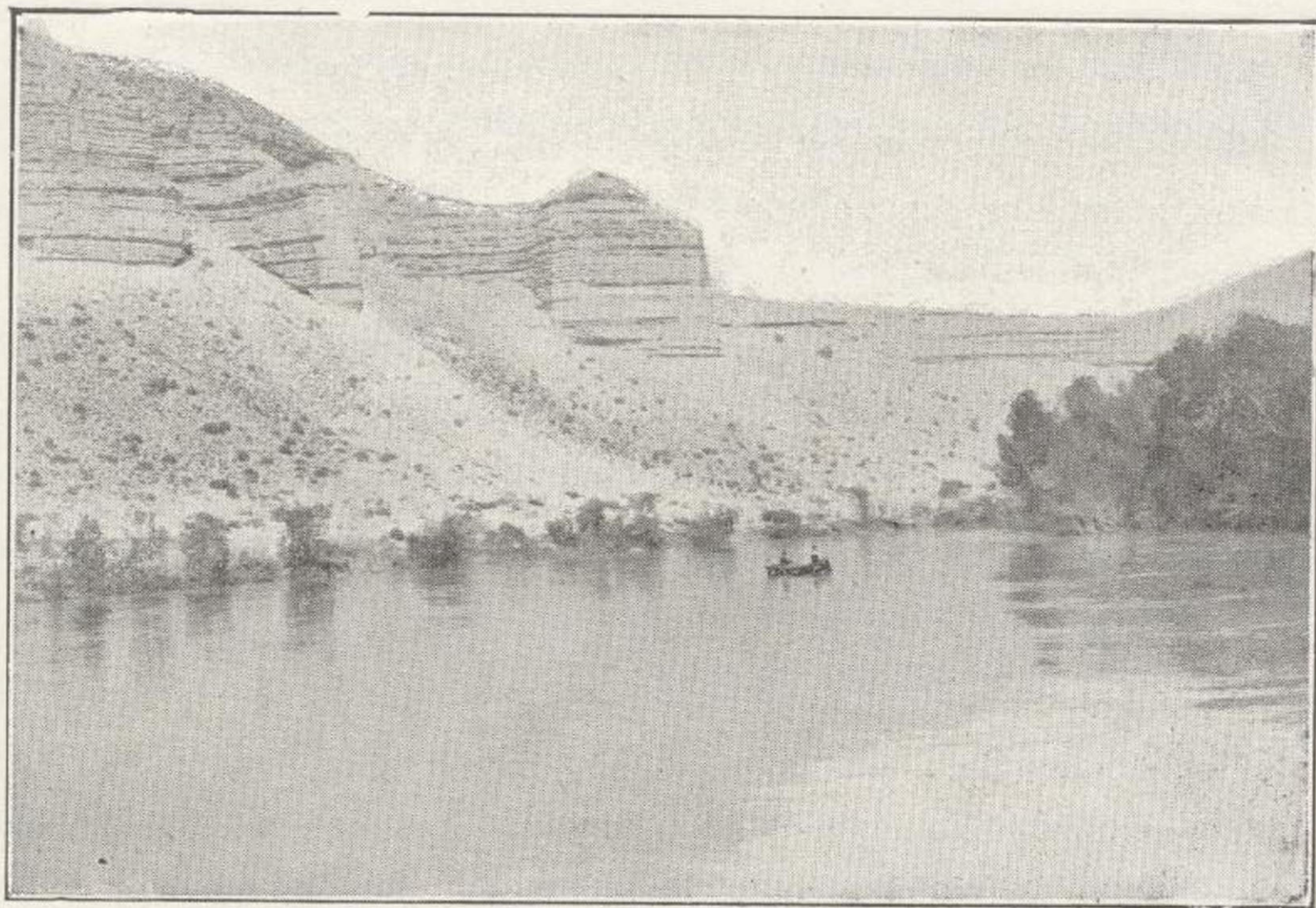
En la cuenca lignífera del Ebro, en Almatret, encontró el Sr. Vidal una tortuga de río, del género *Trionix* y la *Nistia Duchastely Nyst*, característicos del oligoceno,



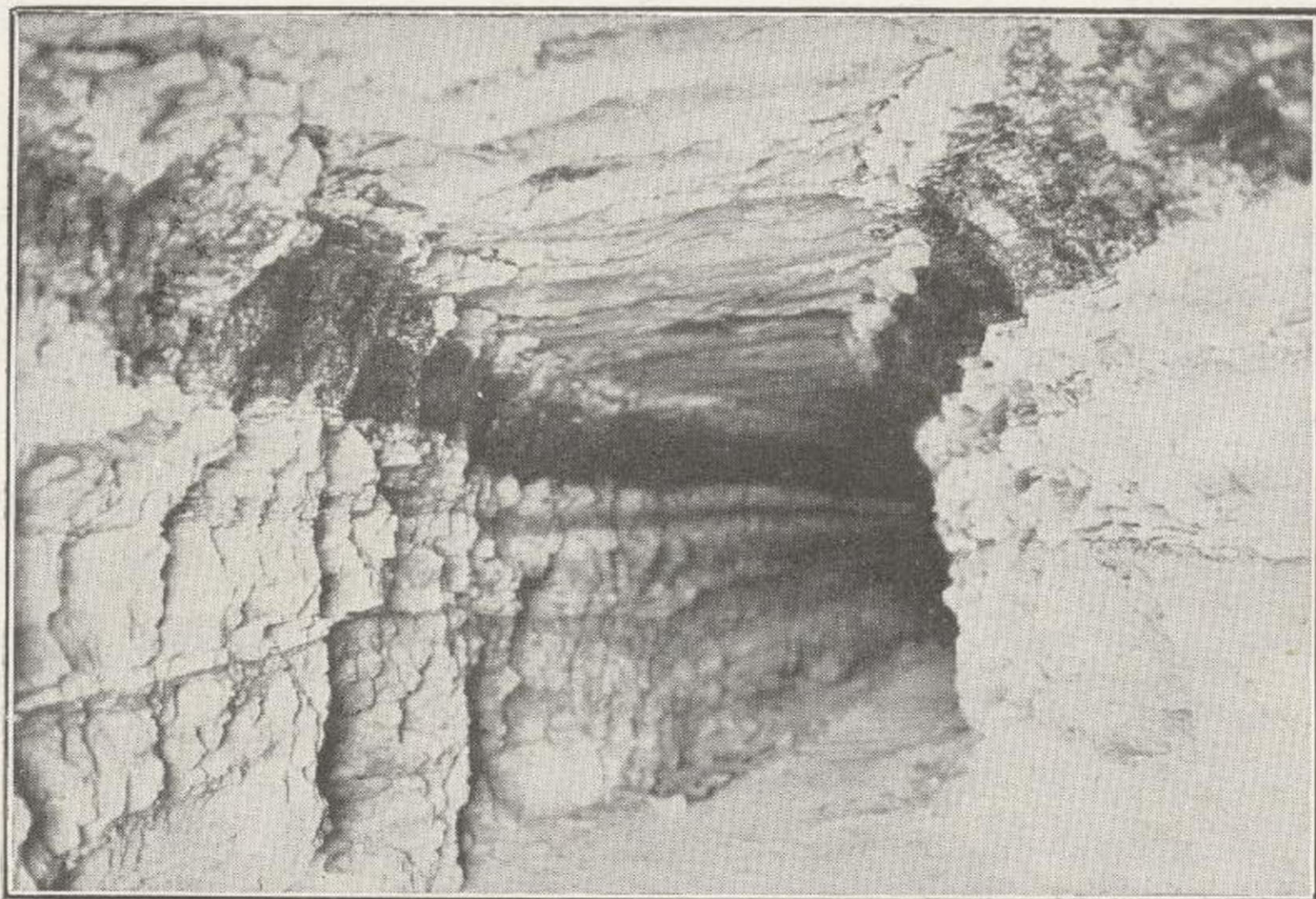
Río Ebro. Entre Caspe y Mequinenza. Balcón de Pilatos. Capas tortonienses



Capa de lignito entre otras de margas. Oligoceno. Mina Pilar. Mequinenza



Río Ebro. Entre Caspe y Mequinenza. Balcón de Pilatos. Capas tortonienses



Capa de lignito entre otras de margas. Oligoceno. Mina Pilar. Mequinenza

entre otros fósiles, y por último, en las provincias de Barcelona y Lérida, nosotros hemos hallado en distintos sitios el *Melanoïdes albigensis* (Noulet), unido a *Paludinas*, *Planorbis*, *Lymnaea*, *Melania*, etc.

Por consiguiente, toda la parte oriental de la cuenca del Ebro es francamente oligocena, y deben sus estratos atravesar el Ebro y aun el Cinca constituyendo los terrenos en donde se asientan los pueblos de Fraga, Peñalva, Ballobar, etc. Por otra parte, una faja en el Norte de la mancha terciaria y que comprende los pueblos de Peralta, Almunia, Barbastro, Salas, Aslor, está formada por areniscas, margas y conglomerados que también deben corresponder al oligoceno. Es decir que este terreno constituye una gran parte del terciario de Aragón. Nosotros hemos podido observar en el Ebro, como a 4 kilómetros aguas arriba de Mequinenza, que los estratos más altos del oligoceno estaban recubiertos por las areniscas del mioceno y éstas a su vez por las margas yesosas de los Monegros.

Los señores Vidal y Deperet fueron más lejos como consecuencia de sus estudios sobre el oligoceno catalán, manifestando que la cuenca del Ebro correspondía en su mayor parte a este terreno. No creemos que aun se pueda afirmar tanto. Desde luego la cuenca lignitífera del Ebro es oligocena, como ya hemos dicho, pero en gran parte de Aragón se presentan superpuestos los tres tramos en que se divide generalmente el mioceno: areniscas y conglomerados, margas yesosas y calizas. En el tramo de las margas yesosas existe un nivel salino que presenta en Remolinos su manifestación más importante y que nos parece es bastante más moderno que el nivel salino de Cataluña, en donde se han descubierto los criaderos potásicos.

El Sr. Vidal considera de edad aquitaniense la marga

blanquecina superior al horizonte lignífero del Ebro, y sabido es que el tramo aquitaniense, caracterizado por hacer su reaparición en Europa la familia de los orbitoides, se coloca, después de los estudios de M. Fallot, en la base del mioceno.

Es, por tanto, problema aun por hacer, el deslinde de los estratos lacustres de la cuenca terciaria de Aragón y Cataluña. Nosotros limitaremos nuestro estudio a la parte oriental de la cuenca, a la situada en las provincias de Barcelona y Lérida, que es claramente oligocena, y en donde han sido halladas las sales potásicas.

Aunque consideremos en general que los estratos que forman los terrenos terciarios lacustres de Aragón son de edad más moderna que los depósitos salinos potásicos, no quiere esto decir que, a consecuencia de los pliegues y accidentes geológicos, no se puedan poner de manifiesto en esta región, en condiciones explotables, los depósitos salinos, si los hay. En la provincia de Huesca aparecen los estratos en sitios bastante plegados, y hay anticlinales, prolongación de los existentes en Cataluña, que dejan asomar los yesos, y en algún sitio, como en Nuestra Señora del Pueyo, los bancos eocenos. Esta provincia es, de las que comprende el reino de Aragón, la que más merece una prospección detenida, por ser aquélla en donde más posibilidad hay de encontrar sales potásicas a profundidades explotables.

Hasta los descubrimientos paleontológicos de Calaf y Tárrega, que fijaron la edad de la cuenca terciaria catalana, existían muchas dudas sobre la misma. Verneuil la consideró mioceno, no alejándose mucho de la realidad, porque en aquel tiempo la clasificación adoptada para el terciario era la de Lyell en eoceno, mioceno y plioceno.

Vesion y Archiac hicieron sendas clasificaciones del eo-

ceno de Cataluña, pero aun disconformes en la división de tramos, ambos colocaban los sedimentos terciarios lacustres de yesos, areniscas y pudingas en la parte alta del eoceno, en el Parisiense, según Vesion. Carez también atribuye al eoceno superior los referidos sedimentos. Maureta y Thos (1) colocan los conglomerados y areniscas en el eoceno superior y designan de proicenos (adoptando la nomenclatura seguida por Cortázar, en sus descripciones sobre las provincias de Valladolid y Cuenca), los depósitos lacustres superiores muy abundantes en margas, y Vidal en su estudio sobre la provincia de Lérida, los clasificó de supranumulíticos

Motivo también de grandes discusiones entre geólogos ha sido la edad de los criaderos salinos de Cardona y como en éstos precisamente es donde se ha hallado la sal potásica, resulta que sin descubrir ésta, se discutía ya su edad. Estas diferencias de apreciación se manifestaron de un modo más patente con motivo de la visita que hicieron algunos miembros de la Sociedad Geológica de Francia a Cataluña. El Sr. Vidal, apoyado por otros geólogos españoles, sostuvo en un principio que la sal de Cardona, Surria y Vilanova la Aguda se había formado en el período oligoceno, fundándose en que los bancos superiores de sal son paralelos a los bancos oligocenos que los recubren y de cuya edad no cabe duda alguna. Si la sal pertenecía al triás, hubiera habido discordancia.

Considera también inexplicable que sirvan de yacente a los depósitos oligocenos las capas de sal en vez de hacerlo las de elementos insolubles: calizas, dolomías, margas.

(1) Descripción física, geológica y minera de la provincia de Barcelona.

Además hizo observar que los yesos que acompañan a la sal de Cardona no tienen el aspecto moteado de los que se ven acompañando a los asomos ofíticos y salíferos de los Pirineos, ni presentan los característicos cristales bipiramidados de cuarzo.

Otra razón que Vidal hizo bien resaltar es que la aparición de sal en todos los sitios citados está íntimamente relacionada con los fenómenos de dislocación de los depósitos oligocenos, sin aparición de terrenos triásicos, lo que parece demostrar que la sal es un depósito como otro cualquiera de la sedimentación oligocena.

Mr. Carez, consideraba que la sal era triásica porque él cree haber visto la discordancia entre la sal y las hiladas oligocenas considerando que estas últimas presentan los pliegues más suaves que los agudos y apretados de la sal, y por fin porque conceptuaba, a semejanza de lo que ocurre en otros muchos sitios de los Pirineos y en Argelia, que la sal se presenta localizada (Suria, Cardona, Vilanova, etc.) y no la cree formando un manto continuo.

Los geólogos franceses Deperet y Bergeron son de la misma opinión que Carez, considerando la sal triásica y el yeso oligoceno, y en cambio los Señores Stuart-Menteth y Dollfus participan de la opinión de Vidal y de los geólogos españoles.

Posteriormente el Sr. Vidal (1) rectificó su primer criterio atribuyendo a la sal roja de la parte superior del criadero edad oligocena y triásica a la sal blanca infrayacente. A la primera le asigna esa edad debido a que observa que las capitas salinas más altas están interestrati-

(1) Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Julio 1914. Cuatro palabras sobre las salinas de Cardona y su edad geológica.

ficadas en los bancos oligocenos; y a la sal blanca la considera triásica atendiendo a que ésta se presenta en diversos lugares de las provincias de Lérida, Barcelona y Huesca, a consecuencia de accidentes geológicos semejantes y que en muchos sitios de ellas la acompañan asomos de yesos ofíticos francamente triásicos; y por consiguiente parece lógico deducir que los bancos salinos que han hecho su aparición por dichos accidentes, correspondan al mismo terreno geológico, se presenten o no con su cortejo de rocas triásicas.

La ejecución de los sondeos realizados en la cuenca han arrojado mucha luz sobre la edad de los depósitos salinos de Cataluña. La afirmación hecha por los geólogos franceses de que la sal estaba localizada en ciertos parajes, no la han comprobado los taladros realizados, por el contrario, éstos han puesto de manifiesto, hayan cortado o no potasa, que el substratum de los bancos oligocenos es un manto salino continuo, pues en todos los sondeos realizados a distancias unos de otros de más de 40 kilómetros se ha cortado siempre el banco de sal blanca y siempre con mucho espesor.

A la otra observación, hecha también por los mismos geólogos, de que los terrenos oligocenos están menos plegados que los bancos de sal infrayacentes, es debido a que la sal se pliega y dobla con suma facilidad casi obedeciendo a la ley física de los vasos comunicantes, mientras que no les sucede lo mismo a los estratos superpuestos, resultando el pliegue más violento cuanto los bancos que lo han sufrido estén más cerca de la sal.

Todas las razones señaladas en apoyo de la teoría de suponer de edad oligocena a la sal de Cardona y Suria, nos parecen muy fundadas. Pero creemos que hay otra aún más decisiva, puesta de manifiesto con los sondeos

realizados. En efecto, en varios de éstos, después de atravesar el manto salino se ha llegado a cortar una marga caliza con fósiles marinos que tiene gran semejanza con las margas eocenas que se presentan en los bordes de la cuenca infrayacentes y en contacto del oligoceno. En ellas se han hallado fósiles que corresponden al eoceno, confirmando la apreciación litológica de las margas halladas. Por tanto, si la sal se encuentra inmediatamente debajo de los bancos oligocenos y superpuesta a las margas eocenas, hay que considerarla de edad terciaria y desechar toda idea que le atribuya edad triásica. Si los bancos inferiores son francamente marinos y la sal debió depositarse en un régimen predominantemente lacustre, lógico es suponer que su edad es la misma que la de los bancos superiores del oligoceno inferior que fueron formados bajo este régimen como lo demuestran los fósiles hallados. Y por tanto consideramos que el manto que contiene sal común y en algunos sitios sal potásica es de edad oligocena inferior o sannoisiense.

HISTORIA

Las salinas de Cardona, por su pintoresca situación y por sus afloramientos verdaderamente excepcionales, son conocidas desde los más remotos tiempos. Plinio las cita con encomio y de sus escritos se comprende que ya, en su época, eran objeto de explotación. Aulo Gelio, en las *Noches Aticas* (siglo II de nuestra era) llama a la sal *mons ex sale mero magnus; quantum demas tantum crescit*.

Cardona pasó de los romanos a los godos y de éstos a los árabes, fué conquistada y reconquistada por los francos, pero desde la época romana no se vuelven a tener noticias de la sal, hasta que en el año 886 cayó Cardona en poder de Wifredo el Velloso. Este caudillo concedió grandes privilegios a los habitantes de Cardona, entre ellos eximirles del pago de *illo toloneo* vectigal impuesto por razón de la sal. Se llamaba *toloneo* al lugar donde se despachaba la sal.

El Conde Borrell, en su carta-puebla de 986, confirmó la concesión de aquellos privilegios y concedió a los habitantes de Cardona toda la sal que arrancasen los jueves de cada semana. En el testamento del Vizconde Ramón se habla del *tolonei salis Cardone*.

En 1091 el Conde Fulco celebró un convenio con Gui-

lermo Ramón, Conde de Cerdaña, cediéndole, entre otras cosas, la cuarta parte del coste de la sal. Los Vizcondes que rigieron a Cardona fueron los que disponían de la sal, que no dejó nunca de ser objeto de beneficio, y sobre ella hicieron donaciones piadosas. El Vizconde Ramón Folch III y Guillerma, Condesa de Melgar, empeñan en 1144 al Abad Raimundo la cuarta parte del tercio de la sal que se cortare por la cantidad de 100 morabatines.

De la propiedad de las minas disponía siempre el que la regentaba y siguió este mismo régimen cuando se estableció en 1491 el Ducado de Cardona. La casa ducal siguió con la propiedad de las minas hasta que pasó a la casa Medinaceli, a quien hoy pertenecen, por el matrimonio de la Duquesa, Doña Catalina, con el Marqués de Tarifa, primogénito del Duque de Medinaceli.

Cardona siguió la historia de Cataluña y pasó por las vicisitudes de la Guerra de Sucesión, de la Independencia y de los Carlistas, haciendo ver de un modo patente la codicia que despertaba el criadero salino. Éste fue objeto de ataques con el decidido propósito de que al vencedor sirviera la venta de los productos como ayuda material para sostener la contienda. Tres veces fueron atacadas las salinas por los Carlistas.

En 1715 se declaró el estanco de la sal y no pudiendo recibir los vecinos la *aimina* y *cistella*, no quisieron dejar perder su derecho y todos los años formularon, por el despojo, la correspondiente protesta una comisión del Ayuntamiento ante los empleados del Duque, haciendo petición de su derecho. En 1859 se suscitó una vez más la cuestión, y el Tribunal Supremo falló a favor de los vecinos de Cardona, obligándose al Duque a dar 15.000 reales anuales a la población y a pagar 100.000 de indemnización por los atrasos.

Unida a la Casa Medinaceli ha estado siempre la propiedad de las minas y se ha seguido explotando hasta nuestros días, vendiendo la sal para los usos domésticos en la región, y en los últimos tiempos haciendo losetas de la sal más blanca y pura para exportarlas a África donde, entre los salvajes, constituye un objeto de adorno.

Últimamente, por convenio con el actual poseedor de las salinas, Sr. Duque de Tarifa, la Sociedad General de Explosivos ha puesto de manifiesto la riqueza en sal potásica que contienen, después del descubrimiento de esta sal en Suria.

Aunque la casualidad ha sido el origen del descubrimiento de la sal potásica en Cataluña, como luego veremos, ya hubo un hombre de ciencias, que habiendo estudiado los criaderos de Stassfurt, había llamado la atención al Gobierno sobre lo conveniente que sería hacer investigaciones en Cataluña para buscar sales potásicas, región que cuenta «entre sus magnificencias naturales las renombradas salinas de Cardona». Con esta frase se expresaba en 8 de Abril de 1897 en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona el Ingeniero de Minas Don Silvano **Thos y Codina**, a quien es justo se le rinda el homenaje a que se hizo acreedor.

Los Sres. Viader y Macary realizaron algunos trabajos en la mina de sal común de Suria, conocida hacía muchos años, y situada como a un kilómetro al Sur del referido pueblo. Querían hacer la misma explotación salina que de tiempo antiguo se hace en Cardona. La mala calidad de la sal arrancada de la mina de Suria, unido a su especial sabor, llamó la atención de los dueños de la mina, y, efectuado un análisis, resultó que en vez de hallar la sal común que buscaban, encontraron un criadero de carnalita. Dándose cuenta de la importancia del hallazgo los Seño-

res Macary y Viader hicieron nuevos registros mineros y constituyeron la Sociedad Bordelaise. Enteradas las Compañías especialistas en abonos del descubrimiento, se apresuraron a registrar el terreno que presentaba probabilidades de contener sales potásicas.

Al principio del año 1914 el Instituto Geológico envió para el estudio de la cuenca a los Ingenieros Sres. Rubio y Marín, que publicaron una Memoria en la que llamaban la atención de la Superioridad sobre la importancia de la cuenca y sobre la necesidad de la intervención del Estado, con objeto de que éste obligara a investigar y explotar las minas y pudiera beneficiarse prontamente la Agricultura nacional. El asunto tomó estado parlamentario y se redactó un proyecto de ley con aquel fin que fué aprobado por el Senado y pasado al Congreso en Diciembre de 1914; pero suspendida la legislatura, quedó sobre la mesa de la Cámara popular hasta que más adelante fué reproducido, aunque con grandes variaciones.

Al mismo tiempo que se presentó el referido proyecto de ley se suspendió la tramitación de los registros mineros, aunque ya había algunos tramitados por completo, y en 1.º de Octubre de 1914, por un Real Decreto, se reservó el Estado una zona en donde consideraba existían probabilidades de encontrar sales potásicas a profundidades explotables.

Por el Real Decreto de 10 de Junio de 1915 se impusieron a los registros potásicos condiciones especiales en los títulos, inspirados en el espíritu del fracasado proyecto de ley.

Los trabajos realizados primeramente por los señores Macary y Viader consistieron en la ejecución de un pozo pequeño en donde realizaron pequeños sondeos en el fondo con una sonda de mano Sullivan, pero en el año

1914 entraron en relación con la Sociedad Solvay y Compañía e instalaron ya un tren de sonda para taladros profundos, ejecutando sondeos muy hondos. La Sociedad Fodina, dotada de dos trenes de sondeo, empezó también sus investigaciones. A éstos siguieron los trabajos de pozos ejecutados en Cardona por la Sociedad General de Industria y Comercio, llegándose a realizar hasta 23 entre sondeos y pozos.

En 24 de Julio de 1918 se promulgó la ley relativa a la intervención del Estado en los yacimientos de sales potásicas y de otras sustancias minerales susceptibles de aplicarse para abonos potásicos o que sirvan de primeras materias en la fabricación de éstos, y en 23 de Octubre del mismo año se decretó el reglamento de la anterior ley regulando la explotación y venta de las sales potásicas.

En el mismo año 1918 publicó el Instituto Geológico la segunda Memoria referente a las sales potásicas de Cataluña, debida también a los Ingenieros Sres. Rubio y Marín.

En 1918 empezó la Sociedad Solvay y Compañía la perforación del primer pozo maestro de la cuenca, a 1 kilómetro al Sur de Suria, trabajo que ha continuado hasta la fecha. También ha hecho grandes instalaciones y ha terminado el ferrocarril que, para uso de sus minas, ha construído entre Suria y Manresa.

Por disposiciones de 27 de Septiembre de 1916 y 29 de Septiembre de 1918, se prorrogó la reserva a favor del Estado de los terrenos limitados por el Real Decreto de 1.º de Octubre de 1914, y en 12 de Diciembre de 1918 se abrió el primer concurso para el reconocimiento por medio de sondeo de los terrenos reservados por el Estado. Este concurso quedó desierto y se abrió otro nuevo en 31 de Octubre de 1919, que fué adjudicado a la casa Tre-

for, de Bruselas. El Estado ha realizado cuatro sondeos profundos.

Con fecha 12 de Marzo de 1920, se promulgó el Real Decreto aprobando el Reglamento especial de Policía Minera para la investigación y explotación de yacimientos de sales potásicas.

Y por último, el Instituto Geológico en 1923, publicó tres memorias dando cuenta de las investigaciones efectuadas en la cuenca potásica de Cataluña debidas respectivamente a los Ingenieros Sres. Marín, Larragán y Menéndez Puget.

SITUACIÓN. EXTENSIÓN. CONCESIONES MINERAS

La cuenca potásica objeto de nuestro estudio, está representada en el plano adjunto (núm. 3) abarcando próximamente la zona reservada por el Estado español por el Real Decreto de 1.º de Octubre de 1914. Según esta disposición, los terrenos reservados a favor del Estado son los comprendidos dentro del perímetro poligonal rectilíneo determinado por las casas consistoriales de Isona, Balaguer, Tárrega, Igualada, Manresa, Vich, Berga e Isona.

Dentro de esta zona existían con anterioridad varias concesiones y registros mineros de particulares cuyos derechos fueron respetados.

A continuación se estampa una relación de las minas de sales potásicas existentes en las provincias de Barcelona y Lérida en 1.º de Enero de 1925, con expresión del número del expediente, nombre de la mina, número de pertenencias, estado legal, término en que radica y entidad propietaria.

RELACION DE LAS MINAS Y REGISTROS DE SALES POTÁSICAS EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE BARCELONA, EN 1.º DE ENERO DE 1925

NÚMERO DEL EXPEDIENTE	NOMBRE	PERTENENCIAS	ESTADO LEGAL	TÉRMINO EN QUE RADICA	DUEÑO
1.873	Manuela.....	5	Concesión	Cardona.....	Unión Española de Exploración sivos.
1.891	Nieves.....	6	Id.....	Id.....	Id.
1.760	Nueva Cardona.....	10	Id.....	Id.....	Minas de Potasa de Suria.
1.910	Nueva Cardona II..	215	Id.....	Id.....	Id.
1.783	Nueva Rumanía.....	16	Id.....	Suria.....	Id.
1.888	Nueva Saladita.....	101	Id.....	Id.....	Id.
1.895	Resguardo.....	38	Id.....	Id.....	Id.
1.892	Romana.....	26	Id.....	Cardona.....	Unión Española de Exploración sivos.
1.761	Rumanía.....	40	Id.....	Suria.....	Minas de Potasa de Suria.
—	Salinas de Cardona..	127	Id.....	Cardona.....	Unión Española de Exploración sivos.
1.800	Saladita.....	152	Id.....	Suria.....	Minas de Potasa de Suria.
1.889	Suria.....	14	Id.....	Id.....	Id.
1.914	Agenaise.....	3.280	Id.....	Castelladral y Castellnou.....	Id.
1.919	Agenaise II.....	2.982	Id.....	Id. y otros.....	Id.
1.908	Barcelonaise.....	1.355	Id.....	Suria, San Mateo de	Id.

1.959	Boston.....	800	Concesión	Viver y Montmayor... Suria, Callús, Torvella y otros.....	Rob. Stow Bradley.
1.913	Gersoise.....	2.400	Id.....	Cardona y Castelladral	Minas de Potasa de Suria.
1.917	Nueva Cardona III..	1.336	Id.....	Suria, Callús y S. Mateo	Id.
1.912	Sagazán.....	458	Id.....	Calonge.....	Id.
1.938	Sampasalás II.....	144	Id.....	Sallent y Balsareny...	Id.
1.967	Sallent.....	935	Id.....	Sallent.....	S. A. La Sevillana.
1.966	Enrique.....	956	Id.....	Id. y Gayá.....	Enrique Villate y Carralón
1.965	Luis.....	1.200	Id.....	Castelladral y Cardona	Id.
1.958	Salinas Victoria ..	1.914	Id.....	San Pere Salavinera..	Juan Vives Gisbert.
1.969	Segué.....	160	Id.....	Id.....	Unión Española de Exploración sivos.
1.980	Salavinera.....	990	Id.....	Id. id. id. y Calaf	Id.
1.970	Castelltallat.....	300	Id.....	San Mateo de Bagés...	Id.
1.948	Nueva Cardona.....	1.164	Id.....	Cardona.....	Id.
1.949	2.ª Nueva Cardona..	1.667	Id.....	Id. y Castelladral..	Id.
1.961	5.ª Nueva Cardona..	263	Id.....	Cardona.....	Id.
1.975	6.ª Nueva Cardona..	48	Id.....	Id.....	Id.
1.976	7.ª Nueva Cardona..	247	Id.....	Id.....	Id.
1.979	8.ª Nueva Cardona..	145	Id.....	Id.....	Id.
1.920	Alfa.....	4.843	Id.....	Id.....	Id.
1.921	Beta.....	2.835	Id.....	Id. y Suria.....	S. A. Fodina.
1.922	Gamma.....	2.800	Id.....	Suria y Castellnou ...	Id.
1.925	Kappa.....	3.900	Id.....	St.ª M.ª de Olot y Aviñó	Id.
1.931	Xi.....	3.569	Id.....	Id. y otros..... San Mateo, Salavinera	Id. Id.

NÚMERO DEL EXPEDIENTE	NOMBRE	PERTENENCIAS	ESTADO LEGAL	TÉRMINO EN QUE RADICA	DUEÑO
1.955	Fronteriza.....	18	Concesión	San Pere Salavinera.	S. A. Fodina.
1.916	Monserrat.....	5.422	Id.....	Suria, Callús, Rajadell	Sociedad La Minera.
1.940	Nuria I.....	555	Id.....	Cardona, Suria y otros	Id.
1.941	Nuria II.....	135	Id.....	Id. id.....	Id.
1.943	Silvina.....	1.221	Id.....	Sallent, Balsareny y otros.....	Id.
1.929	Emerica.....	766	Id.....	Callús, Sampedor y otros.....	Id.
	Varias demasías.....				

RELACION DE LAS MINAS Y REGISTROS DE SALES POTÁSICAS EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE LÉRIDA EN 1.º DE ENERO DE 1925

NÚMERO DEL EXPEDIENTE	NOMBRE	PERTENENCIAS	ESTADO LEGAL	TÉRMINO EN QUE RADICA	DUEÑO
2.314	Cubells	4.000	Registro	Camarasa, Cubells y otros	S. A. La Minera.
2.295	Sampasalás	1.463	Concesión	Molsosa y Pinós	Minas de Potasa de Suria.
2.329	Sampasalás III	203	Id.	Id.	Id.
2.346	3.ª Nueva Cardona	107	Id.	Riner y Freixinet	Unión Española de Explorativos.
2.347	Molsosa	98	Id.	Molsosa	Id.
2.319	Pinós II	200	Registro	Torá y Molsosa	S. A. La Minera.
2.308	Llobregós II	1.577	Id.	Torá, Iborra y Llanera	Id.
2.348	Llobregós III	5.187	Id.	Sanahuja, Vilanova de la Aguda y otros.	Id.
2.343	3.ª Nueva Cardona	747	Concesión	Riner y Pinós	Unión Española de Explorativos.
2.367	Sellis	210	Id.	Sellis	Id.
2.344	Pinós	2.021	Id.	Pinós, Molsosa y Llanera	Id.
2.350	2ª Pinós	661	Id.	Pinós	Id.
2.294	Aguda	4.500	Id.	Tiurana, Pons, Pinell y otros	Id.
2.313	Bellmunt	5.720	Registro	Abellanés, Os, Cubells y otros	sivos.
2.318	Pinós I	1.255	Id.	Vallmaña y Pinós	Sociedad La Minera.
2.362	Pinós III	1.746	Concesión	Pinós	Id.
2.408	Ampliación Molsosa	13	Id.	Molsosa	Unión Española de Explorativos.
2.286	María	6	Id.	Vilanova de la Aguda	Id.
2.331	Rubió	76	Id.	Rubió y Foradada	Francisco Fornera.
2.438	Magdalena	20	Id.	Peramea	Minas de Potasa de Suria.
2.505	Ampliación a Magdalena.	40	Id.	Id.	Antonio Marió.
2.847	Gustavo	8.400	Registro	Lérida, Alcarraz, Torreglosa y otros	Id.
2.849	Arturo	3.900	Id.	Torreglosa, Raimont y otros	Sociedad La Minera.
2.848	Enrique	6.000	Id.	Torreglosa, Corbiús y otros	Id.
2.303	Omikron	6.000	Concesión	Biosca, Torá, Sanahuja y otros	Id.
2.302	Pi	6.120	Id.	Pinell, Tiurana, Pons y otros	S. A. La Fodina.
2.304	Rho	1.117	Id.	Molsosa y Pinós	Id.
2.324	Precisa	132	Id.	Molsosa	Id.
—	Varias demasías				

Resumiendo todos estos datos resulta que la Propiedad minera está repartida por Sociedades del modo siguiente:

SOCIEDADES	Número de hectáreas		
	BARCELONA	LÉRIDA	TOTAL
Minas de Potasa de			
Suria S. A.	13.398	6.242	19.640
Unión Española de			
Explosivos.	5.148	5.640	10.788
Sociedad La Minera	8.099	36.239	44.338
Fodina S. A.	17.965	13.369	31.334
La Sevillana	935	»	935
Juan Vives Gisbert.	1.914	»	1.914
Enrique Villate	2.150	»	2.150
Rob. Stow Bradley .	800	»	800
Varios	»	66	66
Totales	50.409	61.556	111.965

Todas estas hectáreas corresponden a concesiones, menos las 36.239 de la provincia de Lérida pertenecientes a la Sociedad La Minera que corresponden a registros mineros.

De las 111.965 hectáreas del terreno correspondiente a concesiones y registros de particulares, 18.300 hectáreas del terreno abarcado por los registros Arturo, Enrique y Gustavo, de la provincia de Lérida, están fuera de la zona reservada por el Estado, y dentro de ella el terreno comprendido por las 93.665 hectáreas restantes.

La superficie de la zona reservada por el Estado es de 472.000 hectáreas, de modo que descontando las 93.665 correspondientes a particulares quedan reservadas por el Estado 378.335 hectáreas. Aun hay que descontar de esta cifra la superficie correspondiente a las demasías, pero ésta representa muy poca extensión.





MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA POTÁSICA DE CATALUÑA

POR AGUSTÍN MARÍN
Ingeniero de Minas



- Oligoceno. Trazo margoso
- Oligoceno. Yesos en grandes masas
- Eoceno
- Cretáceo
- Jurásico
- Liásico
- Triásico
- Oñitas
- Ejes de los anticlinales
- Perímetro de las minas de particulares
- Sondeos y pozos
- Perímetro de la zona reservada por el Estado

ESCALA 1:300.000

Bordes de la Cuenca oligocena

Se apoya por el S. y por el E. en el eoceno marino en la forma representada en el plano núm. 3. En Manresa se presenta este terreno perfectamente caracterizado por sus fósiles, rompiendo la continuidad de los estratos oligocenos, atendiendo a que al Sur del eoceno, en Monserat, los conglomerados que constituyen sus picos tan característicos son considerados, después de los estudios de Almera, Vidal y Deperet, como oligocenos. En el eoceno de Manresa está representado el tramo luteciense y tal vez el eoceno superior.

Al SE. y E. el eoceno es el mismo de la plana de Vich, estudiado perfectamente por el geólogo Almera (1). En ella se encuentra preferentemente el luteciense, pero en la colina del Gurb se considera que los estratos que la constituyen corresponden al eoceno superior, probablemente al ludiense.

Una faja oligocena que yace sobre el eoceno se extiende al NE. de la cuenca siguiendo este rumbo. Empieza al S. de Ripoll, sigue por San Juliá hasta San Martín de Clot. En la misma dirección señalada por este apéndice aparece otro isleo oligoceno en Sous, siempre en forma de faja alargada, en la dirección E.-NE.

Al S. de Cervera se extiende el oligoceno, y en la sierra de San Miguel aparecen los conglomerados y margas

(1) Descripción geológica y génesis de la plana de Vich por el Dr. Jaime Almera. «Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.» Tomo V.

de la base, apoyándose sobre las margas azules del eoceno medio.

Al S. de Tárrega, en Montblanch, las margas rojas y conglomerados se apoyan sobre una caliza rosácea que puede ser la base del eoceno, faltando las margas azules. Esta caliza se apoya sobre el muschelkalk.

Los conglomerados se prolongan al S.-O., constituyendo las sierras de La Llena y del Montsant, y atraviesa el Ebro, en Ascó.

Por el N. de la cuenca hay más diversidad de terrenos.

En la región de Berga, en general, se apoya el oligoceno sobre los bancos senonenses, pero sin embargo se observan varias fajas eocenas, como la muy interesante del Santuario de Nuestra Señora de Queralt junto al mismo Berga. En la cuenca del Llobregat, inmediato al contacto, se observa un afloramiento triásico de margas y yesos.

En el río Cardoner, a pesar de que a consecuencia de un pliegue han asomado los bancos eocenos del substratum en la proximidad del borde de la cuenca oligocena, se apoyan los estratos correspondientes a este terreno en los bancos cretáceos, apareciendo, casi en el límite, una pequeña mancha triásica de las muchas que se presentan repartidas en los terrenos secundarios que forman el borde de la cuenca que nos ocupa.

En el Segre, en el mismo río, el contacto se hace directamente con una pequeña faja liásica formada por margas con *Gryphea sublobata* y calizas con *Terebratula punctata*, pero presentándose más al N. el cretáceo con mucho desarrollo.

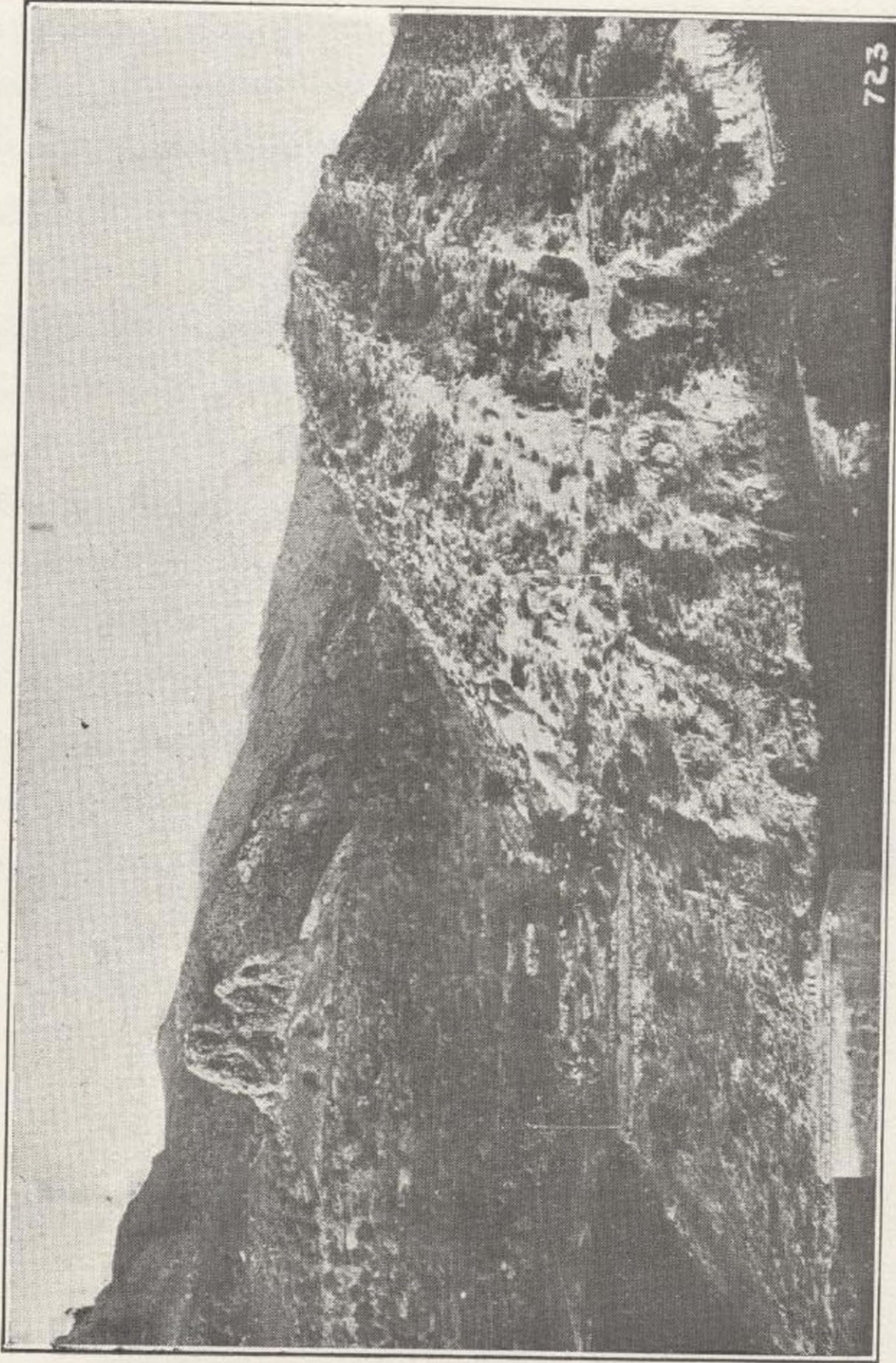
En la zona de Tremp los conglomerados oligocenos se apoyan en estratificación discordante y transgresiva sobre los depósitos cretáceos, entre ellos los garumnenses.

En la región de Artesa a consecuencia de unos pliegues



Borde oligoceno en Artesa. A la derecha las margas correspondientes a dicho terreno; a la izquierda un crestón correspondiente al cretáceo.





Borde oligoceno en Artesa. A la derecha las margas correspondientes a dicho terreno; a la izquierda un cretón correspondiente al cretáceo.



anticlinales en dirección aproximada E.-O. han aparecido los yesos y margas del triás con su cortejo de ofitas, rompiendo la continuidad de los bancos cretáceos que forman en general el borde de la cuenca oligocena, y hasta a veces presentándose en contacto directo con los bancos terciarios.

Si se observa la parte N. del corte que hemos llamado número 4, se ve que los estratos oligocenos se apoyan sobre los yesos y las ofitas del triás, presentándose al Norte los bancos cretáceos.

Más al N. aparecen otra vez unas fajas oligocenas en comunicación al O. con la gran cuenca, pero siempre apoyándose en los bancos cretáceos.

En Foradada, según está representado en la figura 5, los bancos oligocenos se apoyan sobre los estratos cretáceos que allí tienen poquísimo desarrollo. Éstos a su vez se encuentran superpuestos a los que forman una mancha triásica constituida por margas y yesos, en donde aparecen con frecuencia cristales pequeños de cuarzo bipiramidado (circunstancia que nos sirve de carácter empírico pa-

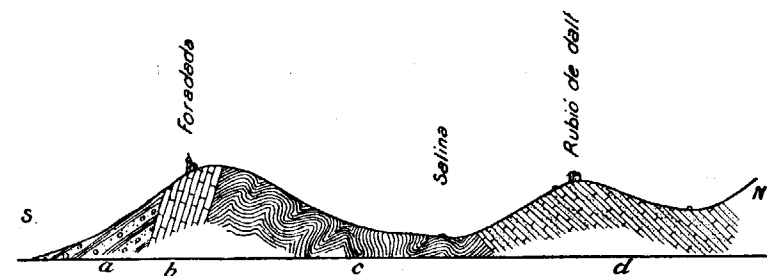


Fig. 5.—CORTE AL NORTE DE FORADADA

a, areniscas, margas y conglomerados oligocenos.—*b*, calizas cretáceas.—*c*, yesos y margas del triás con sal debajo.—*d*, calizas y areniscas en lajas.

ra la determinación de la edad de los bancos yesosos, pues nunca hemos visto esos cristales en los yesos francamente oligocenos).

Indudablemente este terreno triásico contiene sal común en sus estratos más inferiores, puesto que, como a unos 300 metros al Sur de Rubiód de dalt, se hizo un pozo para el alumbramiento de agua salada, que luego se evaporaba, produciéndose una pequeña cantidad de sal que se vendía en los pueblos inmediatos. Hemos analizado esta sal, observando que no contenía potasa.

Aparecen al N. de los materiales triásicos unas areniscas y calizas en lajas, sobre las que está construido el pueblo de Rubiód de dalt, estratos que se apoyan por el Norte sobre el cretáceo. En ellos se pueden observar restos fosilíferos lacustres y entre ellos frutos de Chara.

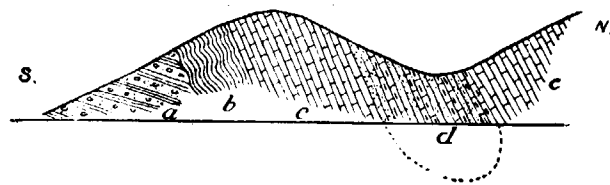


Fig. 6.—CORTE A 2,5 KILÓMETROS DE FORADADA

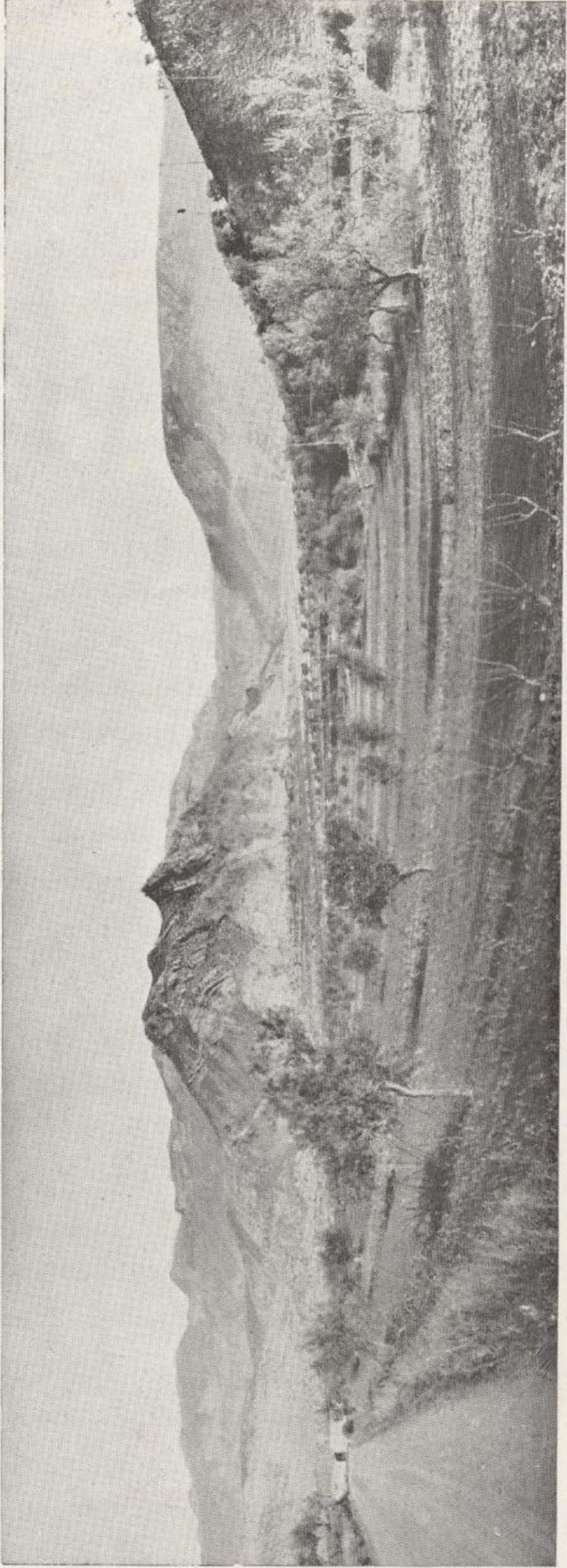
a, yesos, margas y conglomerados oligocenos.—*b*, yesos probablemente triásicos.—*c*, calizas cretáceas.—*d*, calizas lacustres en lajas con frutos de Chara.

La mancha triásica desaparece al E. del corte, y al O. se prolonga como a 1 y medio kilómetros. Se puede observar su falta en el corte de la figura 6, hecho como a 2 kilómetros al O. de Foradada y trazado como el anterior en dirección N.-S. Sin embargo, al S. de la caliza cretácea que parece corresponder con la de Foradada, se observan unos yesos que por la forma de presentarse parecen triá-



Rama Sur del anticlinal de Camarasa junto al pueblo de este nombre





Rama Sur del anticlinal de Camarasa junto al pueblo de este nombre



sicos y que parecen estar en contacto directo con los estratos oligocenos.

Al N. de Cubells, los bancos oligocenos se apoyan directamente en los yesos triásicos, observándose un manchón de ofitas sobre los que hemos visto directamente superpuestos los bancos cretáceos, entre ellos uno riquísimo en fósiles, sobre todo en rudistos. Hemos podido determinar las especies siguientes: *Hippurites sulcatus* (De-france); *Hipp Toucasi* (d'Orb); *Sphaerulites acuticostata* (d'Orb); *Astrocenia Konincki*, (Edw y Hai); *Requienia*, etcétera.

Los yesos atribuidos al triás son rojos y no presentan clara su estratificación; en cambio los oligocenos son blancos y se presentan en estratificación concordante con las margas del sistema.

En la región de Camarasa en el borde Norte de la cuenca se presenta una gran variedad de terrenos geológicos. En el mismo pueblo se observa la superposición directa del oligoceno sobre las margas con yesos del keuper. Junto al Segre, al Sur de San Lorenzo de Mongay se encuentran los yesos oligocenos superpuestos a depósitos eocenos. Entre Camarasa y San Lorenzo, el oligoceno se apoya sobre el cretáceo. En toda esta región se presentan en muy poca extensión, una gran variedad de terrenos, pero siempre repitiéndose los tramos de que hemos hablado en párrafos anteriores: triás con ofitas, lias medio, senonense y numulítico, es decir, que a consecuencia de pliegues anticlinales y fallas, rompen la continuidad de los bancos cretáceos terrenos más antiguos, presentándose además retazos eocenos, subsistentes a pesar de la gran denudación a que ha sido sometido este terreno a poco de su formación.

Por el O. sigue la formación oligocena fuera de la con-

cesión del Estado y entra en Aragón según ya hemos manifestado.

La continuidad de la cuenca oligocena, que es objeto de este trabajo, se encuentra rota cerca de su borde Norte por isleos de otros terrenos más antiguos. Los estratos triásicos aparecen muchas veces con su cortejo de ofitas.

En Monmagastre se presentan los yesos y margas del triás y las calizas cretáceas en la forma representada en la figura número 7.

Las areniscas, margas y conglomerados oligocenos se apoyan sobre las calizas cretáceas, que forman como una sierrecilla estrecha de 1 kilómetro de longitud con alguna

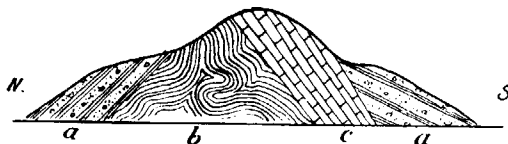


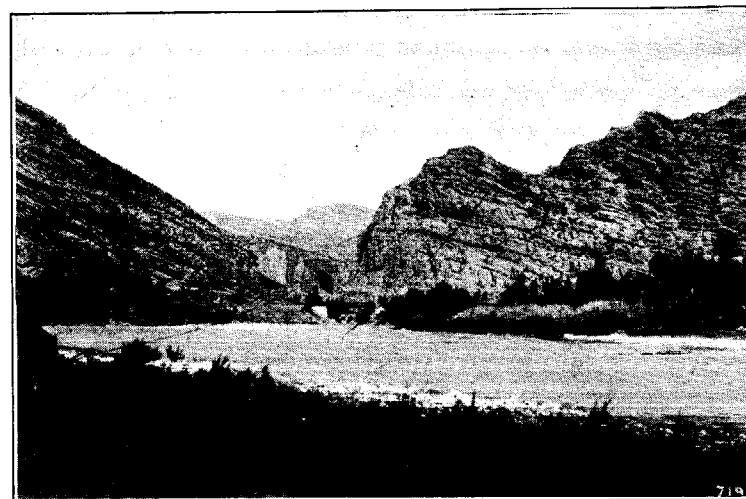
Fig. 7.—MONMAGASTRE

a, areniscas, margas y conglomerados oligocenos.—b, yesos y margas del triás.—c, calizas cretáceas.

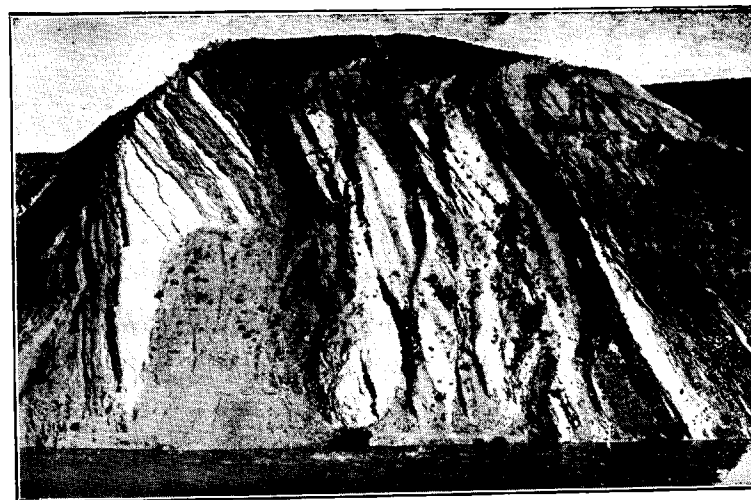
solución de continuidad. El cretáceo se apoya sobre las margas y yesos del triás, de colores muy abigarrados.

Al S. de Artesa, inmediato al pueblo, en el cerro denominado El Castellote, también se observa el mismo fenómeno, como se puede ver en el corte núm. 4; pero aquí los yesos del triás van acompañados de ofitas. Las manchas cretáceas y triásicas tienen aquí muy poca extensión. En las primeras se ven restos de rudistos.

El liás hace su aparición entre los bancos oligocenos, al O. de Oliana, y el eoceno presenta dos manchas importantes: una en Oliana, en donde se presenta en contacto con el liás en su parte occidental; y la de San Lorenzo de Morunys, en donde los estratos eocenos y los conglomerados oligocenos superpuestos se encuentran en un pliegue isoclinal.

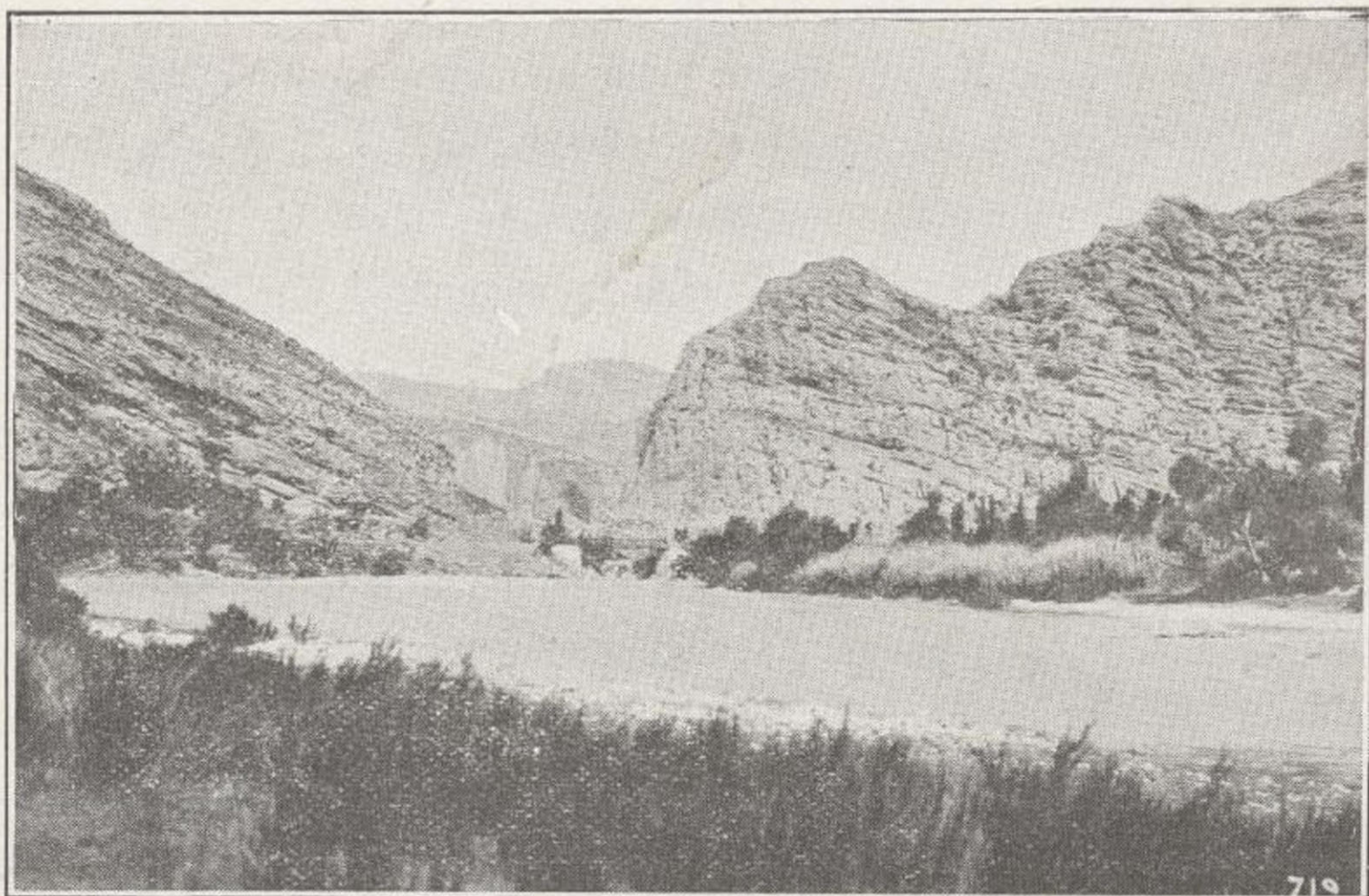


Río Segre. Puente de hierro cerca de Camarasa. Conglomerados oligocenos.

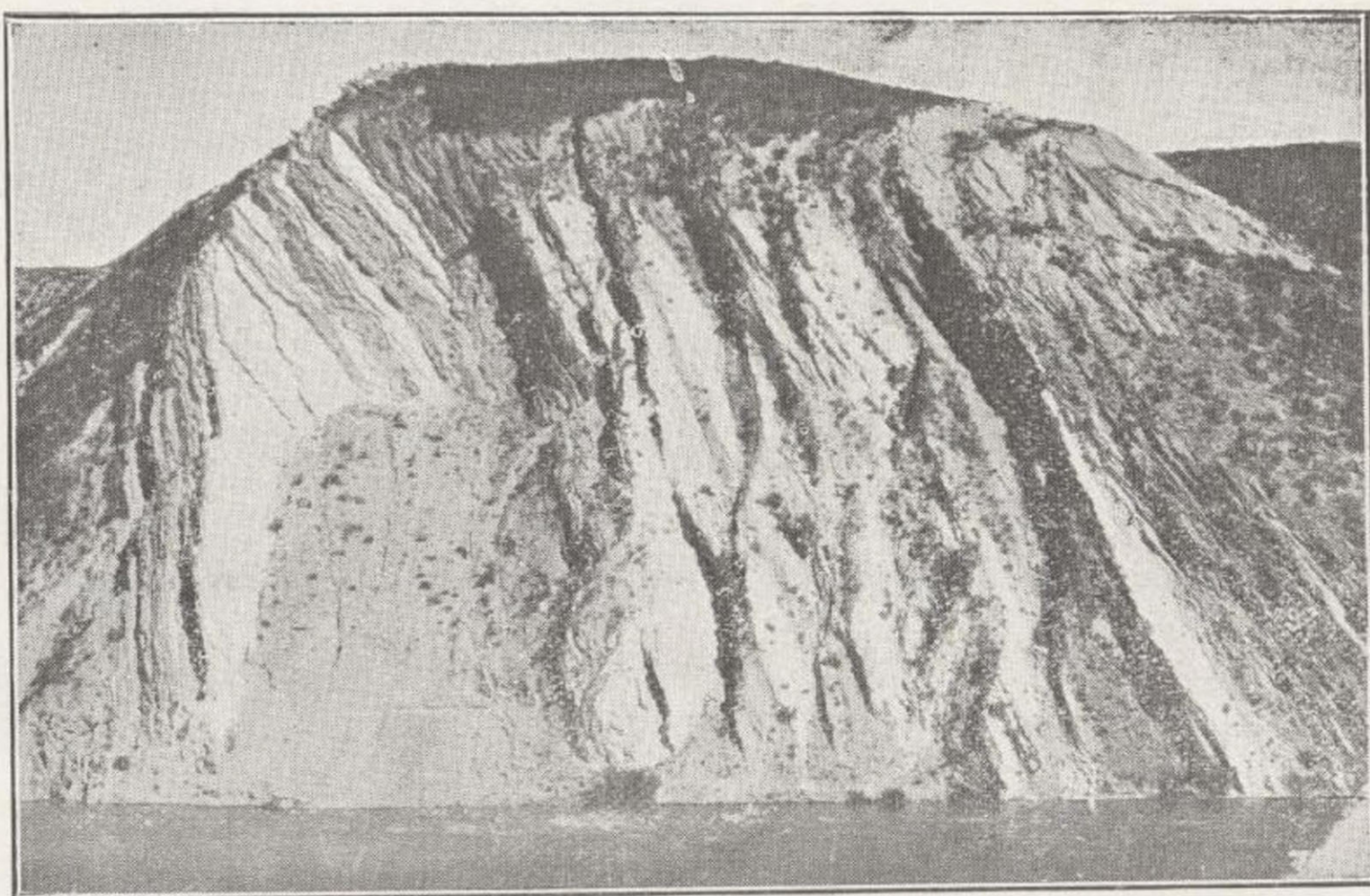


Bancos de margas del borde oligoceno junto al río Segre





Río Segre. Puente de hierro cerca de Camarasa. Conglomerados oligocenos.



Bancos de margas del borde oligoceno junto al río Segre



Es interesante hacer destacar la aparición de las manchas triásicas, en general de muy poca extensión, y que aparecen en todo el borde N. de la cuenca, rompiendo violentamente, a modo de eczemas, la continuidad de los bancos que sobre él yacían. A más de las manchas que ya llevamos citadas, es interesante la que se presenta también en Aygua de Valls, fuera ya de nuestro plano. Aparece el triás entre los conglomerados oligocenos, junto al molino de Güel, y por su borde O. se presenta el cretáceo, apareciendo muy próximo al contacto el garumnense.

Conviene hacer resaltar el hecho de que la sal se presenta en muchas de las manchas del triás de Los Pirineos. Cerca del borde de la cuenca oligocena se presenta en Rubió, Comá, Gosol, Gerri, Cambrils y también en otros muchos sitios de la provincia de Huesca.

Geología de la cuenca potásica

Para poder comprender bien la estructura de la cuenca oligocena, hemos creído lo más conveniente trazar varios cortes, siguiendo aproximadamente la dirección N.-S., o sea procurando cortar a los pliegues normalmente.

El primero lo hemos trazado siguiendo el río Cardoner, desde Manresa hasta su nacimiento, en las fuentes de Pedra y Comá. Como es la zona más conocida, hacemos preceder la explicación de este corte a la de los demás.

En el mismo Manresa se apoya el oligoceno en las margas eocenas y los Sres. Maureta y Thos citan los fósiles siguientes:

Nummulites striata (Orb).

— *biarritzensis* (Arch).

— *perforata* (Orb).

Dimorphastrosa Castroi.

Stylocoenia lobato-rutundata (Edw. y Haim).

Eupatagus ornatus (Agass).

Pecten subtripartitus (Arch).

Terebellum carcassensis (Leynn).

Turritella conoidea (Sow).

El Sr. Vidal cita los fósiles *Vulsella falcata*, *Turritella ataciana* y *Terebratulla Vidali*.

En las trincheras del ferrocarril de Suria a Manresa hemos recogido el *Ceritium giganteum* (Lam). En Navasclés se presentan muchos equinidos.

Bajando de Manresa a Olesa se encuentran diversos tramos del eoceno. Los trabajos de Chevalier (1), Faura y Canu (2) han contribuido mucho al estudio de este terreno en toda la región de Manresa. En este mismo pueblo por bajo de la Cueva de San Ignacio, casi en el contacto con el oligoceno, nosotros hemos hallado *Nummulites Fabiani* (Prerez) otros fósiles del Priaboniense. Las pequeñas sierras de Malvals y Montlleó próximas a Manresa son ricas en fósiles y pertenecen al eoceno medio y superior. Nosotros hemos hallado el *Nummulites Royaulty* (d'Arch) y *N. perforata* (Denis de Mont) *spiriferinas*, *Serpula Spirulæa*, pólipos, esponjas, briozoarios, moluscos, etcétera. Concordante con este tramo se presentan francamente las margas azules del luteciense. El contacto pasa por San Vicente en donde hemos visto muy abundantes el *Nummulites atacicus* y *N. subatacicus* (Douvillé). Y por último por bajo de Castellvell aparece el eoceno infe-

(1) Note préliminaire sur la géologie de la Catalogne orientale. «Bulletin de la Société Géologique de la France». Tome XIV.

(2) Faura y Canu. «Sur les Bryozoaires des terrains tertiaires de la Catalogne».

rior lacustre con *Bullimus* formado por margas, areniscas y conglomerados.

En el eoceno superior de Montlleó, Faura y Canu citan los siguientes fósiles:

Stylocoenia emarciata (Milne Edwards).

Trochocyatus af van du Heckey, (Milne Edwards).

Operculina canalifera (d'Archiac).

Brisoides Faurai (Lambert).

Ostrea latissima (Deshayes).

Pecten (clamys) multicarinatus (Deshayes).

» » *oblatus* (?) (Deshayes).

Spondylus radula (Lamareck).

Spondylus limoideus (Bell).

Venicardia multicosata (Lamareck).

Onichocella angulosa (Reuss).

O. Escavata (Reuss).

Parvipora (Faura y Canu).

Aeropora coronota (Reuss).

Didymosella acutirostri (Faura y Canu).

Hippopodiplosia asaapta (Faura y Canu).

Eschara nodulifera (Reuss).

Schizoporella (Hornesi Reuss).

Mucronella obesa (Faura y Canu).

Mastigophora Dutertrei (Saygni).

Retipora cellulosa (?) (Linné).

Tubucellaria ceroides (Ellis y Solander).

» » *fusiformis* (d'Orbigny).

Eutalophora pulchella (Reuss).

Filisparsa propinqua (Faura y Canu).

» » (Labati d'Archiac).

Heteropora.

Lichenopora verrucosa (Philippi).

Como se puede apreciar la fauna de briozoarios es ri-

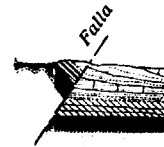
ca y tiene muchas especies comunes con la del monte del Gurb en la plana de Vich considerada por Almera como del eoceno superior. Es decir que los bordes de la cuenca por el Sur y el Este parecen pertenecer al eoceno.

Las pudingas de Monserrat se superponen al horizonte con *Nummulites perforata* y *striata*, y ha sido hallado por el P. Almera en un horizonte intermedio el *Eupatagus ornatus* del numulítico superior de Biarritz. Estas pudingas han sido consideradas por Deperet como oligocenas y de la misma edad que los depósitos de Calaf y sincrónicos de los conglomerados de la sierra de Busa. Por consiguiente, en el río Llobregat el oligoceno está roto, apareciendo el eoceno. El retazo al Sur lo forman los conglomerados de Monserrat, y al Norte la cuenca de Callús y Suria que nos ocupa.

No deja, sin embargo, de llamar la atención cierta confusión que se observa en el terreno entre los elementos marinos y lacustres, pues inmediatos a los fósiles marinos aparecen restos de *Melantias*, *Potamides*, *Cerithes*, etc. fauna salobre que indica un tránsito del régimen marino al fluvio-lacustre y que da motivo para que pueda surgir la duda de que las pudingas de Monserrat no sean oligocenas, sino que formaron el estuario de un río en el período eoceno superior.

Sobre las margas eocenas se apoyan las margas calizas y areniscas del oligoceno. Predomina en ellas el color rojo, aunque las hay también grises. Inmediatamente que se pasa el pueblo de Callús, subiendo por el río, se encuentra un pequeño accidente en este tramo. Está constituido el anticlinal por una ligera ondulación. Un sondeo realizado un poco al N. del eje de este anticlinal, en Lladó, por la Sociedad Solvay y Comp.^a, cortó la sal común a 455 me-

CATALUÑA



28



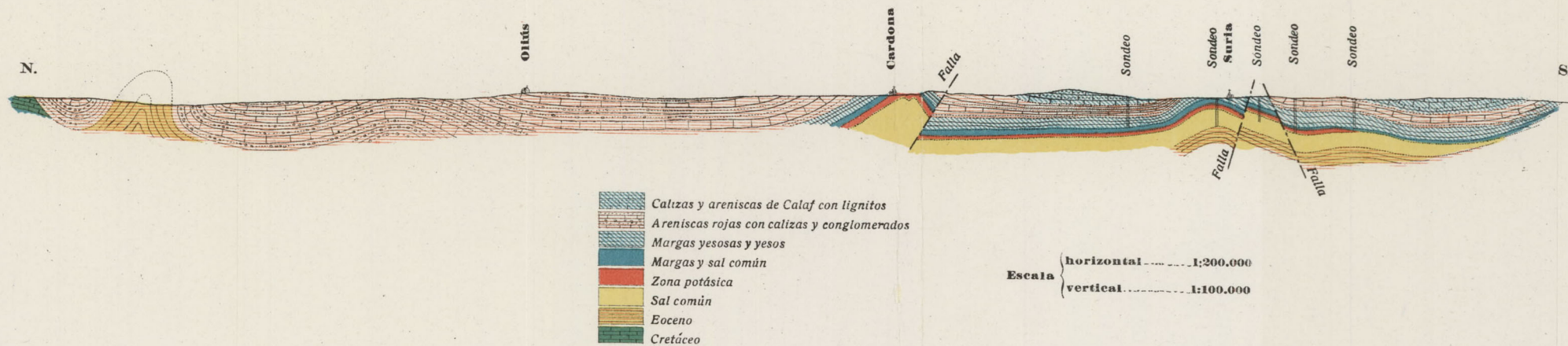
Parece que es muy frecuente un equívoco por su forma y áreas ambulacrales debe corresponder a la familia de los espatángidos, puede ser que al género

(1) «Sales potásicas de Cataluña», 1918, por D. César Rubio y Don Agustín Marín.



SALES POTÁSICAS DE CATALUÑA

Corte núm. 1



tros, habiendo perforado antes los terrenos siguientes, de arriba para abajo:

Calizas con margas abigarradas y algunas grises, 234 m.	
Margas rojas con algún banco de caliza	18 —
Calizas con margas.	43 —
Yesos con margas rojas	35 —
Margas grises y rojas, saladas y yesosas, y con anhidrita	43 —
Areniscas muy duras y margas	11 —
Margas grises con intercalaciones de sal.	11 —
Sal común con trazas y algunos bancos de carnalita, uno de ellos con espesor de 3,68 metros y alguno de silvinita	150 —
Sal gris	320 —
Anhidrita, yeso y sal	7 —
Calizas	3 —
Total	<u>875 m.</u>

Se suspendió el sondeo en unas calizas que nosotros hemos clasificado de eocenas en otro lugar (1). En los testigos de estas calizas procedentes de éste y de otros sondeos por nosotros examinados, no hemos podido observar ningún ejemplar completo de fósil, o por lo menos determinable, aunque frecuentemente se pueden ver fragmentos de diferentes especies. La caliza es muy arcillosa, constituyendo una marga dura.

Parece que es muy frecuente un equínido regular que por su forma y áreas ambulacrales debe corresponder a la familia de los espatángidos, puede ser que al género

jo, aunque las hay también grises. Inmediatamente que se pasa el pueblo de Callús, subiendo por el río, se encuentra un pequeño accidente en este tramo. Está constituido el anticlinal por una ligera ondulación. Un sondeo realizado un poco al N. del eje de este anticlinal, en Lladó, por la Sociedad Solvay y Comp.^a, cortó la sal común a 455 me-

(1) «Sales potásicas de Cataluña», 1918, por D. César Rubio y Don Agustín Marín.

Eupatagus, característico del eoceno. De todos modos, la familia de los espatángidos cuando tuvo su desarrollo fué en el cretáceo superior y en el terciario. El *Eupatagus Ornatus* (Agass) ha sido hallado en Cataluña en el eoceno del S. de la cuenca.

Existen también en los referidos testigos algunas facillas de lamelibranquios con estrías interiores; pero los ejemplares que poseemos son tan incompletos, que es imposible determinarlos, ni aun el género. Hemos visto, sin embargo, dos especies distintas: una que parece corresponder al género *Pecten*, pero con estos solos datos es difícil determinar la edad a que corresponden.

Por último, hemos podido observar al microscopio la existencia, aunque escasa, de foraminíferos fósiles. En una preparación hemos examinado un ejemplar incompleto que corresponde a la familia de los nummulididos, que alcanzaron tanto desarrollo en el eoceno, probablemente del género *operculina*, atendiendo a tener pocas vueltas y las primeras no ser perceptibles. Por tanto, por la familia a que corresponden y por sus caracteres, sólo puede corresponder al cretáceo superior o al eoceno, preferentemente a este último.

La cantidad de sal potásica cortada es pequeña, comparada con la hallada en otros sondeos de la cuenca, indicando un empobrecimiento al S.

Al O. de Callús, en el camino de La Fonellosa, entre el molino de Carner y la casa llamada del bosque de Falls, se ven unas margas muy oscuras y duras con *Planorbis*, *Lymnæa longiscata* Brong, etc.

El sondeo núm. 6, en el paraje Milor, se realizó también por la Sociedad Solvay, en el sinclinal comprendido entre los anticlinales de Callús y Suria. Se puede considerar que el corte del terreno de este taladro es el normal

de esta cuenca de Suria, y le expresamos a continuación, de arriba a abajo:

Tierra vegetal	2 metros
Calizas alternando con margas, a veces en bancos muy duros	66 —
Margas rojas y areniscas, y algunas calizas grises	133 —
Margas, en general grises, con calizas grises	145 —
Margas grises y rojas, saladas y yesos . .	54 —
Anhidrita y marga muy caliza	28 —
Margas grises y rojas, saladas y yesosas con algún banco calizo	51 —
Arenisca y anhidrita, generalmente muy dura, con hidrocarburos.	49 —
Sal común, margas y carnalita	61 —
Idem, id. y silvinita	30 —
Sal gris	176 —
Anhidrita	9 —
Calizas fosilíferas	84 —

y en el fondo del taladro siguen las calizas fosilíferas marinas, a nuestro juicio eocenas. La longitud total del sondeo fué de 888 metros. La sal potásica se cortó a los 528 metros. Las calizas alternantes con las margas de todo el tramo cortado encima de las sales son bastante fosilíferas.

Siguiendo el curso del Cardoner, antes de llegar a Suria, existe una falla que se ve en la orilla Oeste del Cardoner, y sigue en línea recta por el barranco del Tordell en una longitud de más de 3 kilómetros. Esta falla (plano n.º 4) cuyo buzamiento aun no se conoce bien, ha producido un

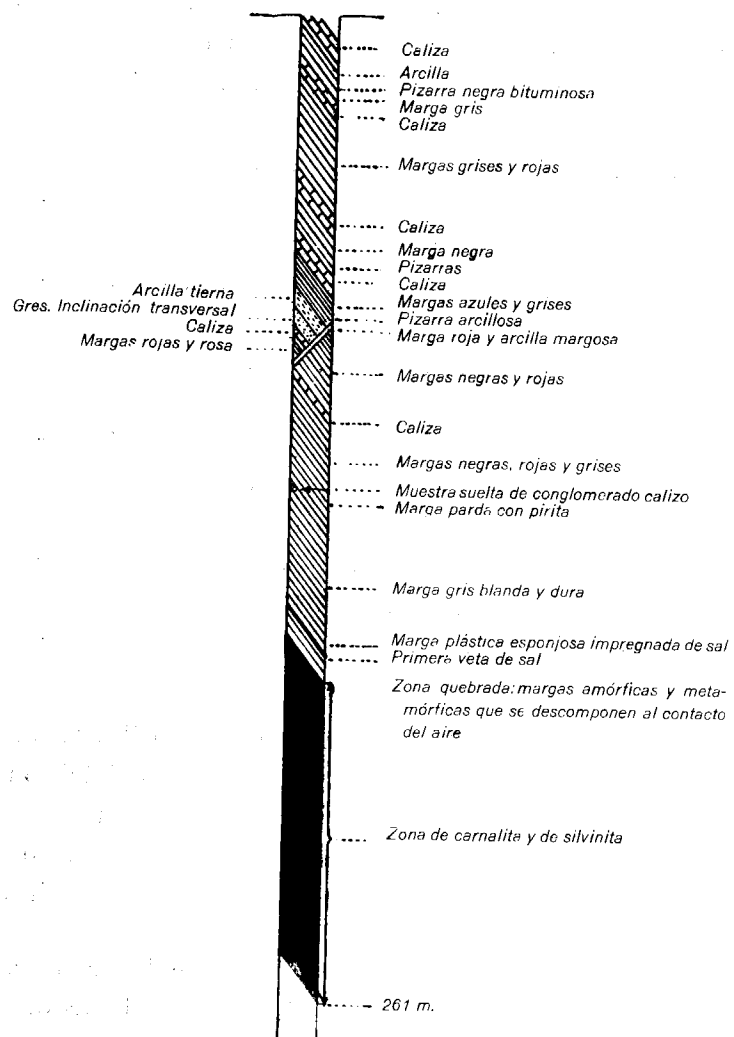
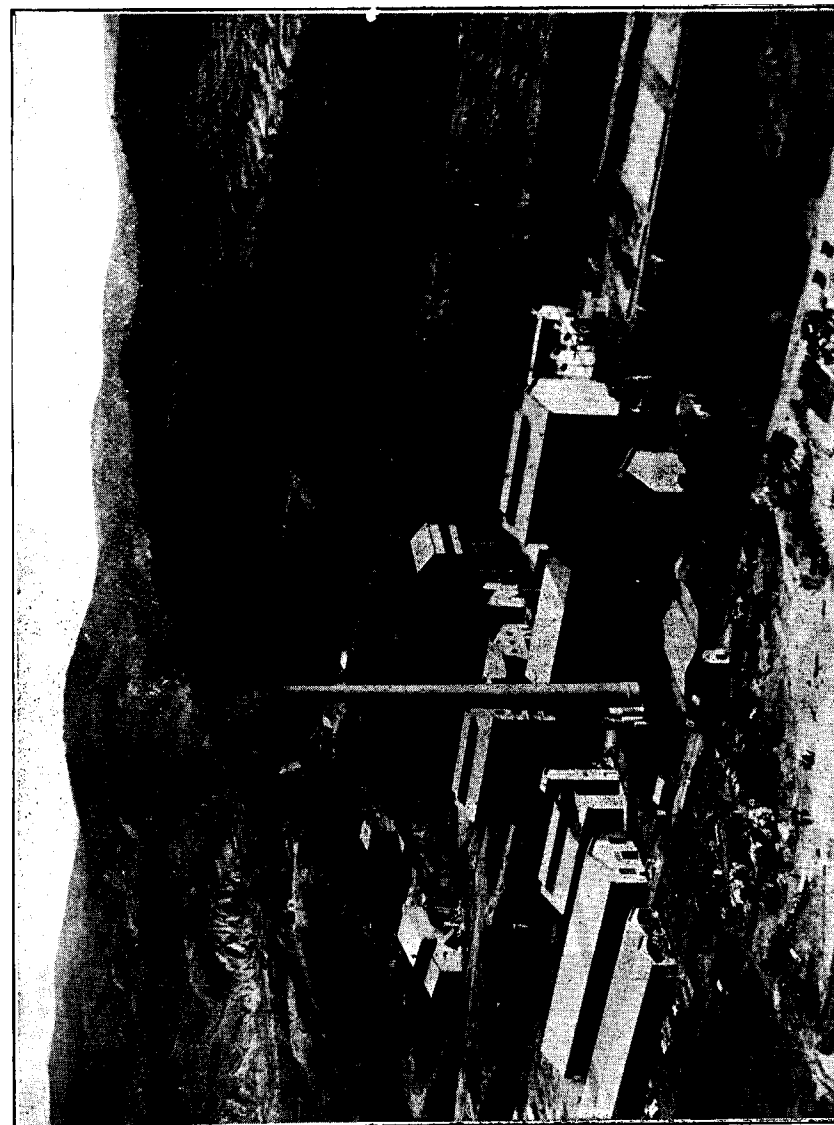
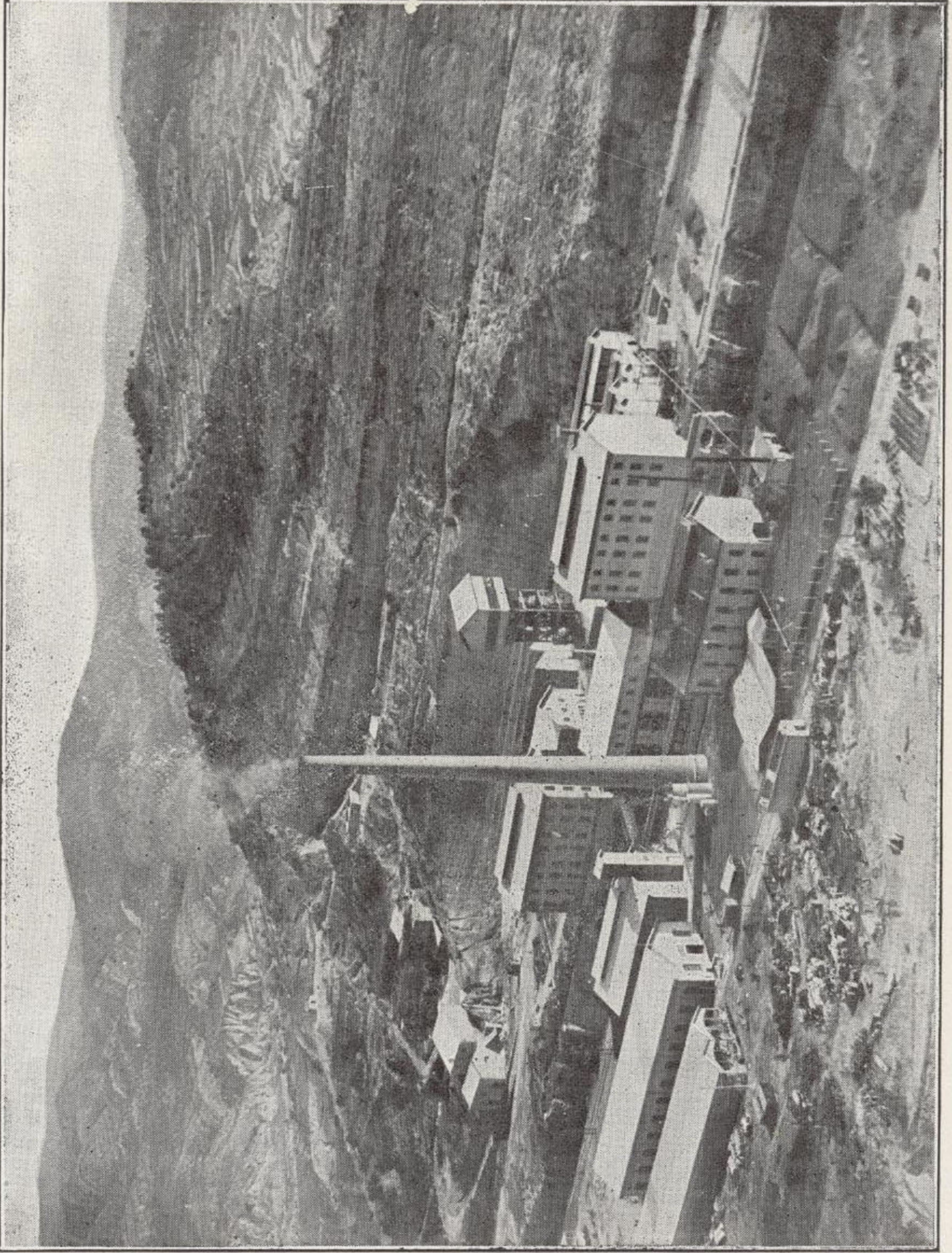


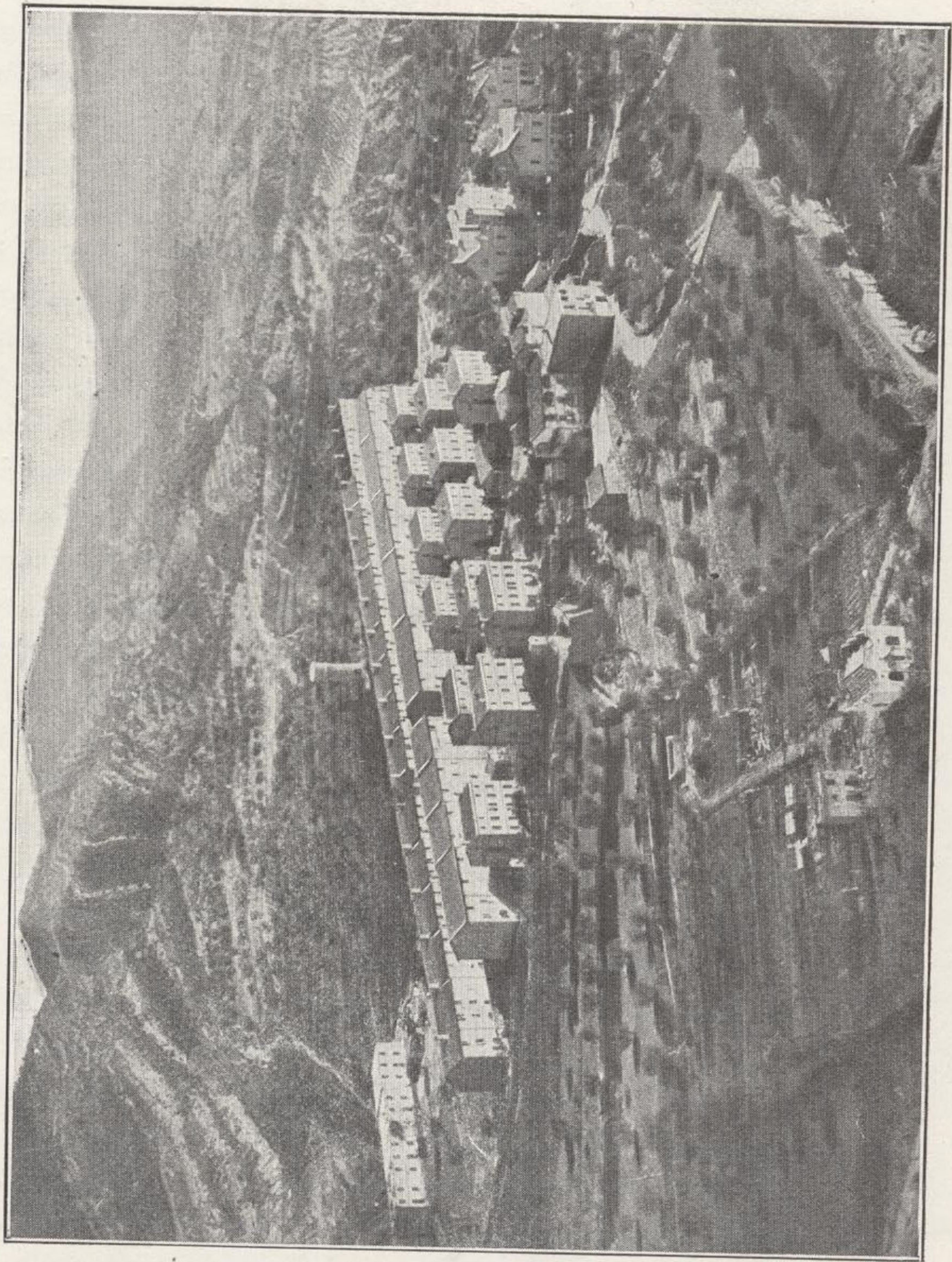
Fig. 8



Instalaciones de las minas y fábrica de la Sociedad Minas de Potasa de Suria. A la derecha se ven los bancos casi horizontales del oligoceno



Instalaciones de las minas y fábrica de la Sociedad Minas de Potasa de Suria. A la derecha se ven los bancos casi horizontales del oligoceno



Barrio obrero de la Sociedad Minas de Potasa de Suria. En el fondo se ven los bancos que forman las dos ramas del anticlinal

salto en los estratos. El labio meridional se ha elevado sobre el septentrional lo que ha traído consigo la aproximación de la sal a la superficie.

El primer pozo realizado en la cuenca, en donde se encontró por vez primera la sal potásica, estaba ubicado en esa rama meridional levantada. La sal común se cortó a 68 metros. Antes de llegar a ella se cortaron en toda la longitud del pozo margas yesosas con sal en pequeñas vetas y nódulos. Tenían estas margas una inclinación de 40°. Después de las margas se cortaron 2 metros de sal y anhidrita, unos 8 de sal gema impura muy cargada de anhidrita y al final se tropezó con las primeras manifestaciones potásicas, no habiéndose atravesado la zona potásica ni con el pozo ni con los pequeños sondeos realizados en el frente de la galería abierta desde el pozo. Las capas salinas tienen una inclinación de 60°. Esta labor está hoy hundida.

En la superficie se ven algunos bancos calizos fosílicos. Allí hemos podido recoger *Planorbis*, *Lymnaea* mal definidos y frutos de *Chara*.

Junto a la falla, en sitio muy próximo a la unión de las carreteras de Suria a Manresa y de Suria a Balsareny e inmediato y al Sur del pueblo, se ha perforado el pozo maestro de la Sociedad Minas de Potasa de Suria integrada principalmente por la Sociedad Solvay y Compañía.

Este pozo maestro tiene de diámetro interior 6,05 m. y su corte está representado en la figura 8. Al principio se perforaron en él yesos y algunas margas rojas y areniscas, y después margas grises que empezaron por ser blandas y luego adquirieron alguna más resistencia, a medida que se cargaban de cloruros. A los 165 metros aparecieron ya unas láminas de sal común intercaladas en las margas, y a medida que se profundizaba, la sal aparecía en

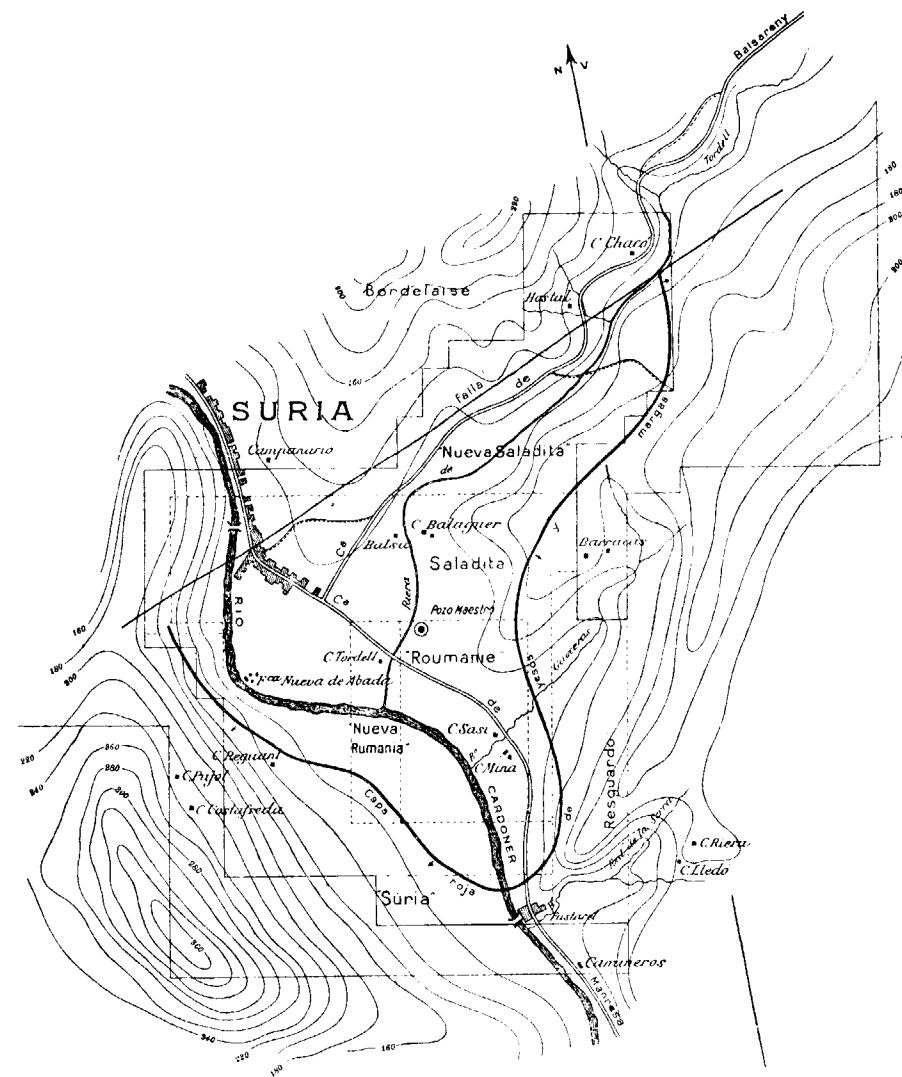
capas de mayor potencia, y por último, a 180 metros aproximadamente, aparecieron las primeras indicaciones de carnalita. Se atravesó luego la zona potásica, hallándose en la base la silvinita. La zona de carnalita tiene 60 metros y la de silvinita 10. Las inclinaciones variaron mucho. Al criadero se le cortó con dirección aproximadamente N.-S., con una inclinación de 23° y buzamiento al Este. A los 254 metros se cortó todo el yacimiento. El pozo tiene hoy unos 300 metros, habiéndose instalado dos niveles para la explotación de la silvinita, a 227 y 277 metros de profundidad, y está proyectado otro a los 327.

Además de la falla, se observa al N. de ésta y del pueblo de Suria otro accidente constituido por un pliegue anticlinal en dirección E, 30° N., habiéndose realizado los pozos en la rama S. de este anticlinal, estando, por tanto, afectados los bancos en su posición e inclinación por este accidente. Además de este accidente y del de la falla de Tordell antes descrita se observa que los estratos han sido también objeto de un empuje vertical, que ha formado como un eczema o cúpula, y cuya traza, en el terreno, se percibe claramente siguiendo el banco de yesos y arcilla roja que, en forma de anfiteatro, se observa en las dos márgenes del Cardoner, en las inmediaciones de Suria. Dicha traza está representada en la figura número 9. Esta capa roja se ve junto a las instalaciones del pozo maestro, buza en este sitio 48° al Este, sigue la ladera de la montaña hasta la fábrica de Fusteret y se la ve también en la margen derecha del Cardoner en dirección N.-S. Hemos representado un corte del valle de este río con inclinación de esta capa y del criadero potásico para que se pueda apreciar la forma de cúpula que presenta.

Esta capa forma al S. de la falla una especie de bóveda puesto que presenta en la traza, con el terreno, toda cla-

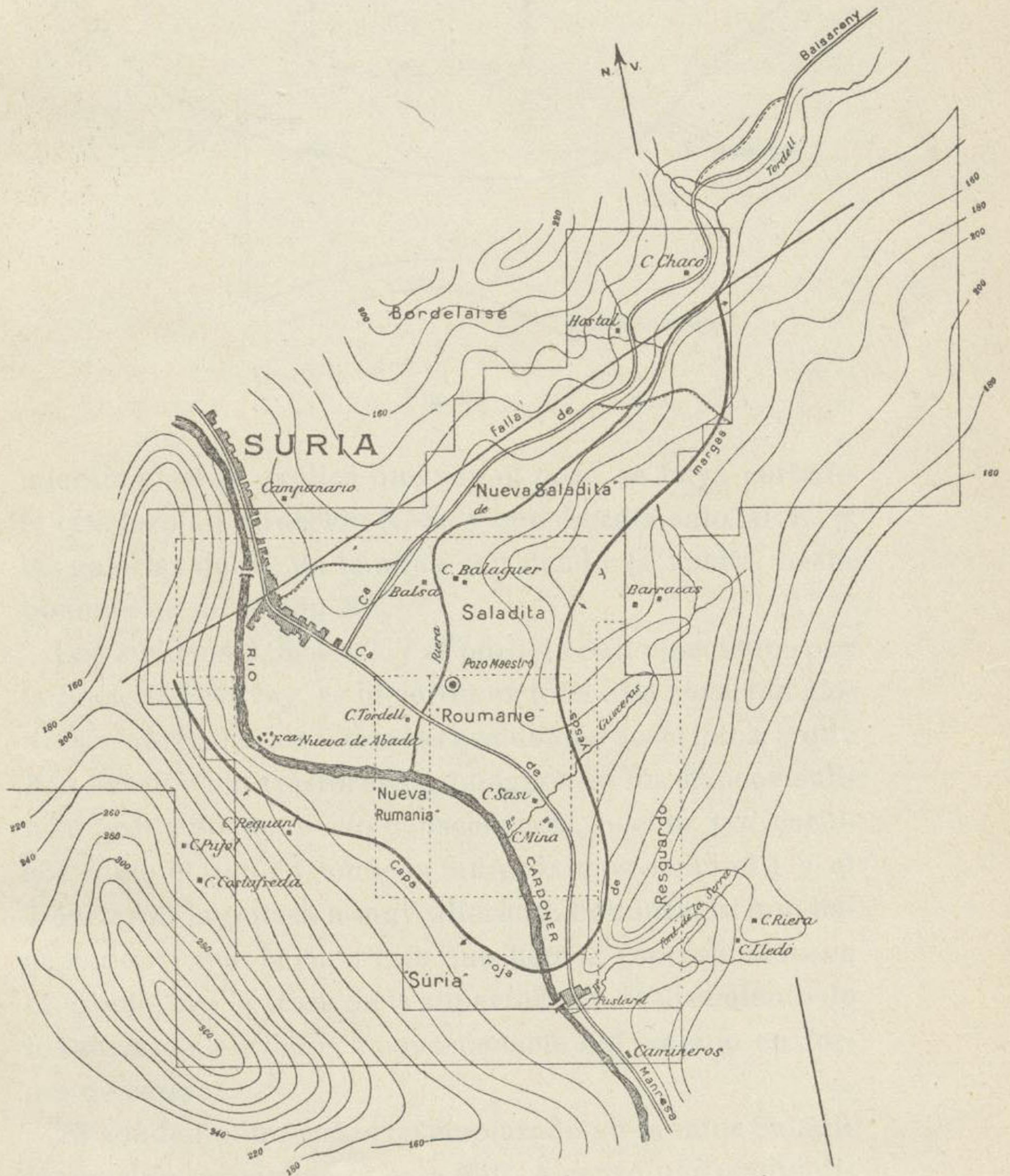
VALLE DEL CARDONER SURIA

Afloramiento de la capa roja de yesos, margas y arcillas
Escala de 1:29.000



VALLE DEL CARDONER SURIA

Afloramiento de la capa roja de yesos, margas y arcillas
Escala de 1: 29.000



se de direcciones, y sus buzamientos son siempre hacia el exterior, como están representados en la figura; sirve de guía para darse cuenta de lo que debe ocurrir en el yaci-

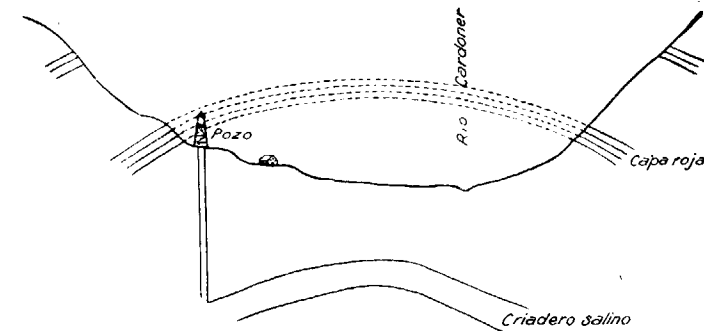


Fig. 9

miento, y así se explica que con el pozo se haya cortado el criadero en dirección N.-S., y con buzamiento al E., y las galerías del N. de la mina van dando la vuelta, hasta ponerse en dirección NE.

Los sondeos 2, 3, 4 y 7, y el pozo de Salí ejecutados por la Sociedad Solvay, se hicieron en toda esta zona, tan movida y afectada por todos los accidentes descritos, y que han ocasionado trastornos y pliegues en los bancos salinos, produciendo, como consecuencia, hechos tan curiosos como el que en sondeos tan próximos como el 1 y el 7 cortaron la potasa a muy diferente hondura, lo que hace suponer que la capa roja que hemos representado en el dibujo, sea la traza de la superficie de deslizamiento de los terrenos elevados a consecuencia del empuje en forma de eczema.

El sondeo núm. 1 estuvo emplazado en la mina Saladita, en sitio próximo a la casa Salí. Alcanzó una profundi-

dad de 370 metros, y cortó una capa de sales potásicas, mezcladas con sal común, a 50 metros de profundidad. El criadero tenía 70 metros de potencia.

El sondeo número 2, cerca del pueblo de Suria, estaba situado en la mina Roumanie. Encontró también una importante capa potásica a los 208 metros. El espesor de la zona potásica es de 95 metros.

El sondeo número 3 se situó en la mina Saladita, junto a la casa Regnant. Alcanzó una hondura de 400 metros. La capa de sal potásica, mezclada como siempre con sal común, tuvo aquí gran espesor: 184 metros. Se cortó el yacimiento potásico a los 142 metros.

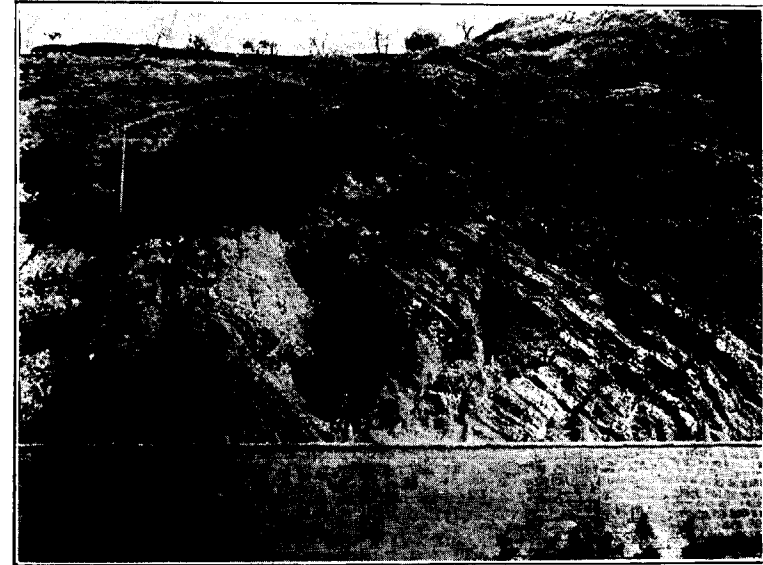
El sondeo número 4 está también en la mina Saladita, a 300 metros al O. del río Cardoner. Llegó a la profundidad de 590 metros. El criadero potásico tuvo allí un ancho de unos 35 metros, y se cortó a los 256 de hondura.

El sondeo número 7 se situó en la mina Resguardo, junto al río y junto a la fábrica Giró. Se encontró más profunda la sal, a 528 metros, y alcanzó gran hondura: 870 metros. Se cortó el criadero potásico con una potencia de 91 metros.

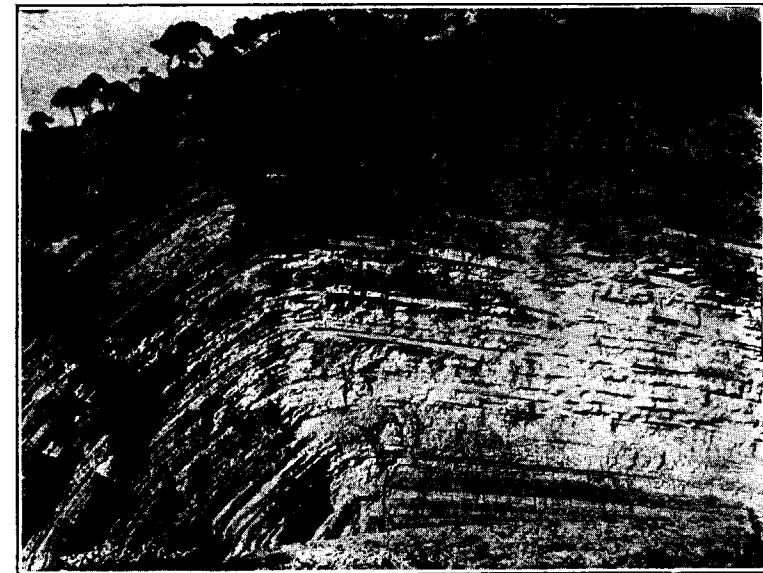
Siguiendo el corte, se observa en el extremo N. del pueblo de Suria el anticlinal, de que ya hemos hablado, perfectamente marcado en calizas, margas y yesos.

La rama S. es la más abrupta, pasa de 70° su inclinación, y tiene tendencia a constituir un pliegue isoclinal. La rama N., aunque también está fuertemente inclinada, lo está menos que la S., y además pierde más pronto su pendiente, tomando los estratos su buzamiento normal al NO.

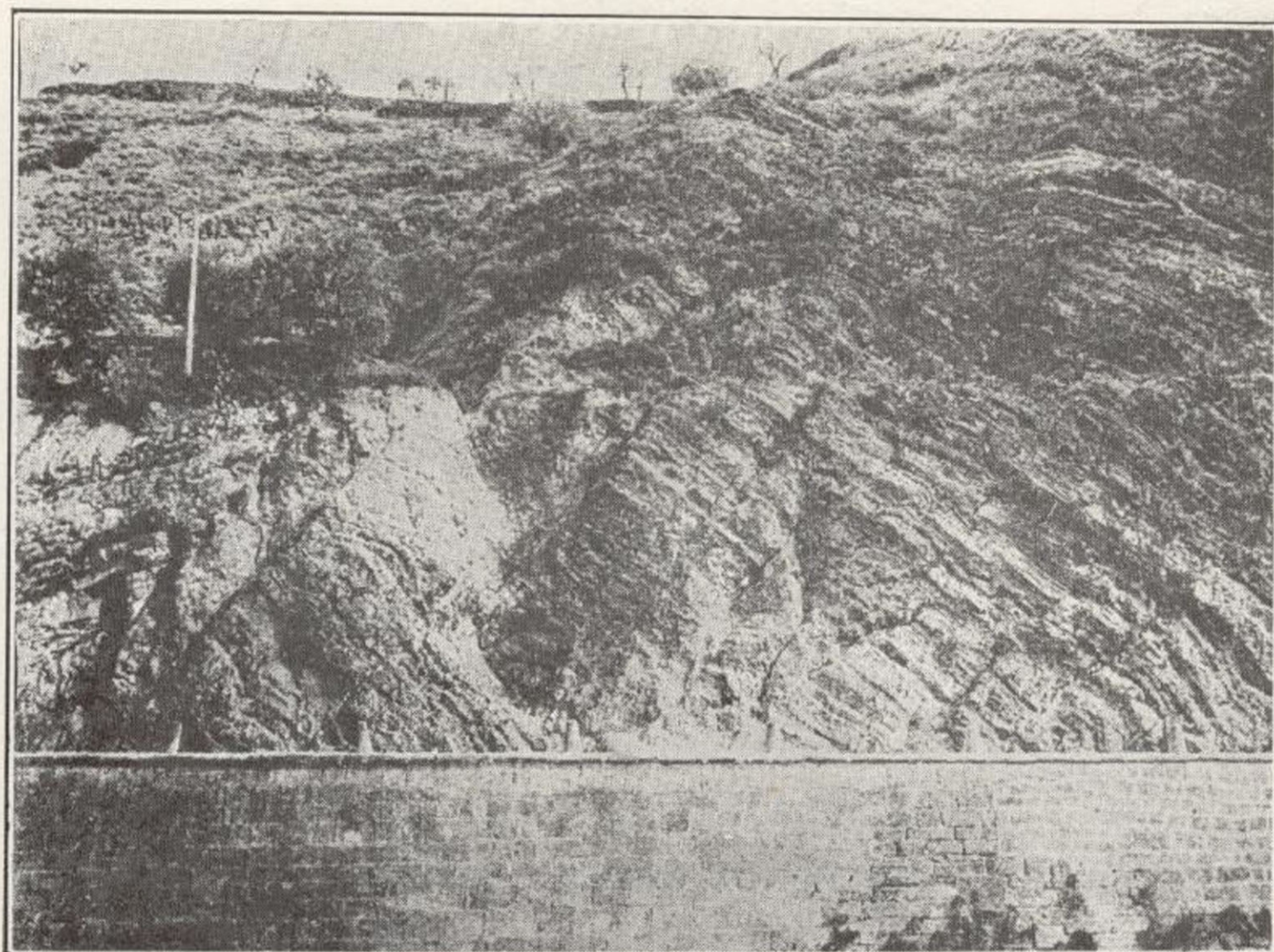
El frente que presenta este pliegue en la carretera de Suria a Cardona, lo llama la gente del país, en su idioma natal, *Mitch Mond* (medio del Mundo), expresión que da idea clara de lo que es el accidente.



Suria. Mitch Mond.



Anticlinal visto a un kilómetro al Norte de Suria.



Suria. Mitch Mond.



Anticlinal visto a un kilómetro al Norte de Suria.

Al N. del pueblo de Suria se hizo un sondeo en la rama N. del anticlinal principal, y muy cerca de su eje.

Los terrenos atravesados fueron los siguientes, de arriba a abajo.

Tierra vegetal	2 metros.	
Yesos con margas	84	—
Margas yesosas y saladas (más saladas cuanto más profundas)	56	—
Margas con capitas e intercalaciones de sal, algo de anhidrita y yesos	92	—
Zona potásica, formada por carnalita y sal, principalmente, con la presencia de silvinita en la parte alta	205	—
Sal gris.	510	—
Zona potásica, constituida de sal común, carnalita y silvinita	79	—
Anhidrita, yeso y calcita	9	—

En este sondeo parece que hay dos capas separadas por un gran banco de sal común. Se podía suponer que se repetía el criadero potásico a consecuencia de un pliegue aparecido debajo de la sal común, pero en este caso se tenían que repetir también las margas con capitas e intercalaciones de sal que forman el pendiente del criadero; pero esto no sucede, sino que se presenta en el fondo del taladro anhidrita, yeso y calcita, que parece constituir la base del yacimiento salino en toda la cuenca.

Siguiendo el corte al N., los bancos que se observan en la superficie, son principalmente las margas rojas y areniscas, observándose algunas intercalaciones de calizas y margas grises. En el sitio donde aun los estratos presentan alguna inclinación al N., como formando parte de la

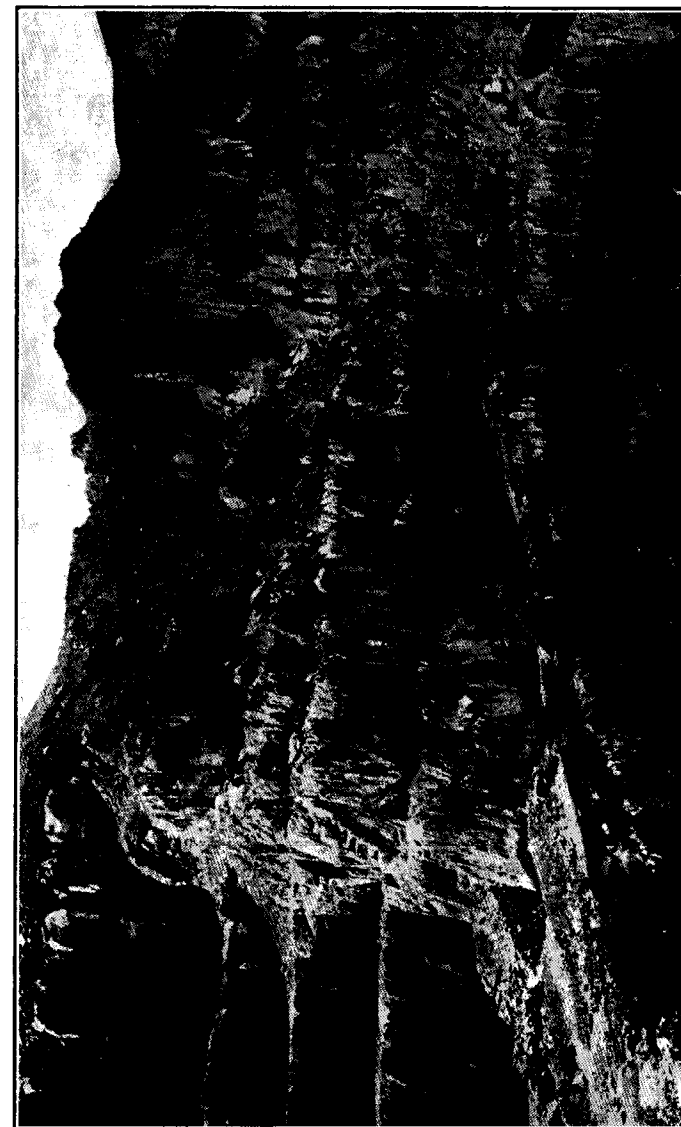
rama N. del anticlinal, junto a la fábrica de Palá Nuevo, y próximo a la carretera de Cardona a Suria, realizó la Sociedad Solvay otro sondeo que alcanzó la profundidad de 1.187 metros. La zona potásica se cortó a los 875 metros, y tiene una potencia de 104 metros.

Las rocas halladas, en el orden en que fueron cortadas, son:

Tierra vegetal y cantos sueltos	7 metros.
Margas rojas y abigarradas, con bancos de caliza, pequeños, y uno importante de 35 metros de espesor	294 —
Calizas, algunas muy duras, y margas, algunas ligeramente saladas	287 —
Margas grises y rojas, muy yesosas, a veces con anhidrita y ligeramente saladas	75 —
Margas, en general grises, algunas rojizas e irisadas, saladas, y a veces con intercalaciones de sal común y capas de esta substancia, cargándose de sal a medida que se descendía en este horizonte	212 —
Zona de carnalita con sal y capitas de margas	79 —
Zona de silvinita con sal y carnalita	25 —
Sal gris, en parte muy blanda	182 —
Yesos	5 —
Calizas	21 —

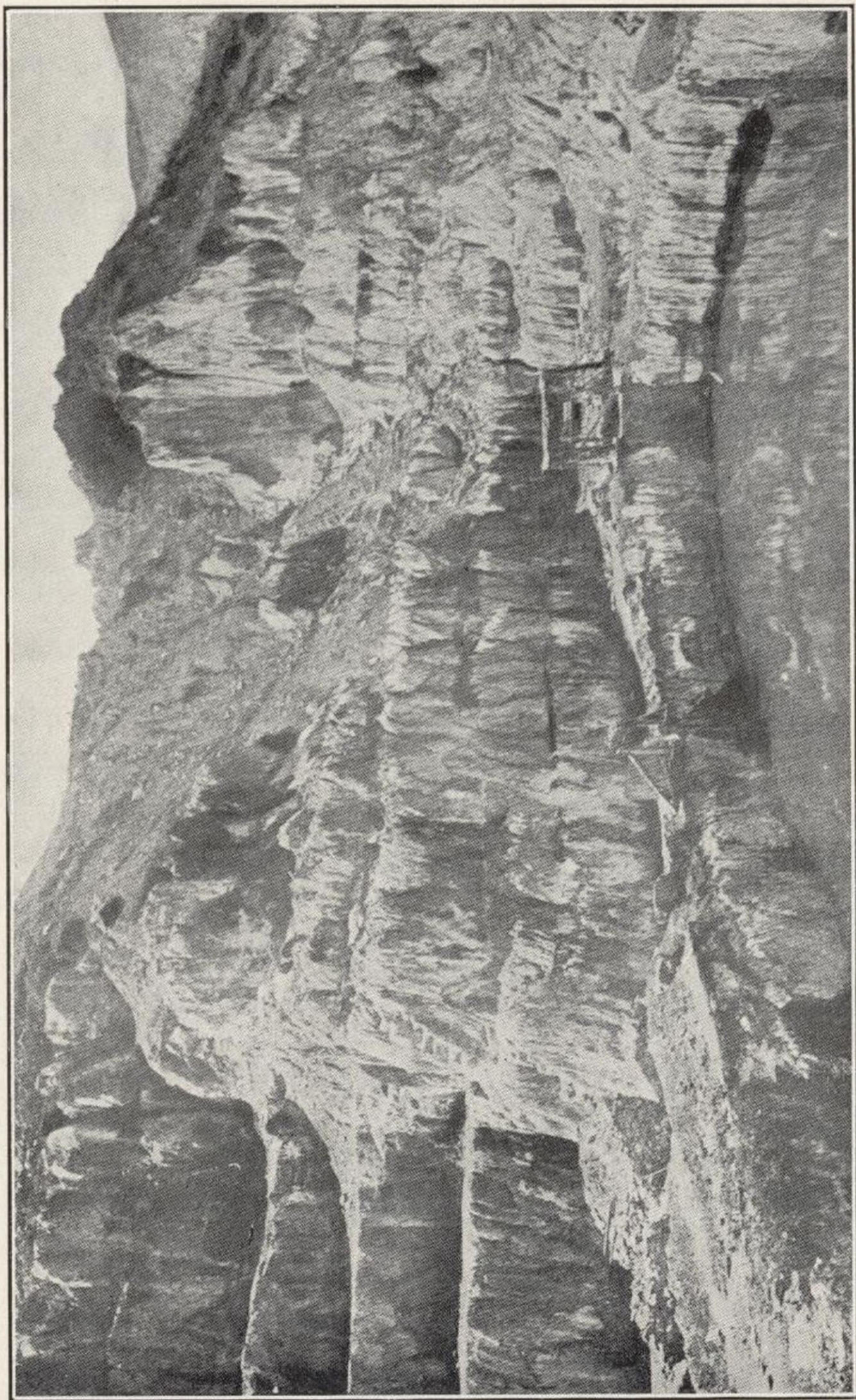
Llama la atención en este corte el desarrollo que tiene el tramo de las margas grises, con intercalaciones de capitas de sal. Por lo demás, el yacimiento presenta un aspecto normal.

Al N. de Palá, los bancos se ponen horizontales y se encuentra el sinclinal que separa los anticlinales de Suria y

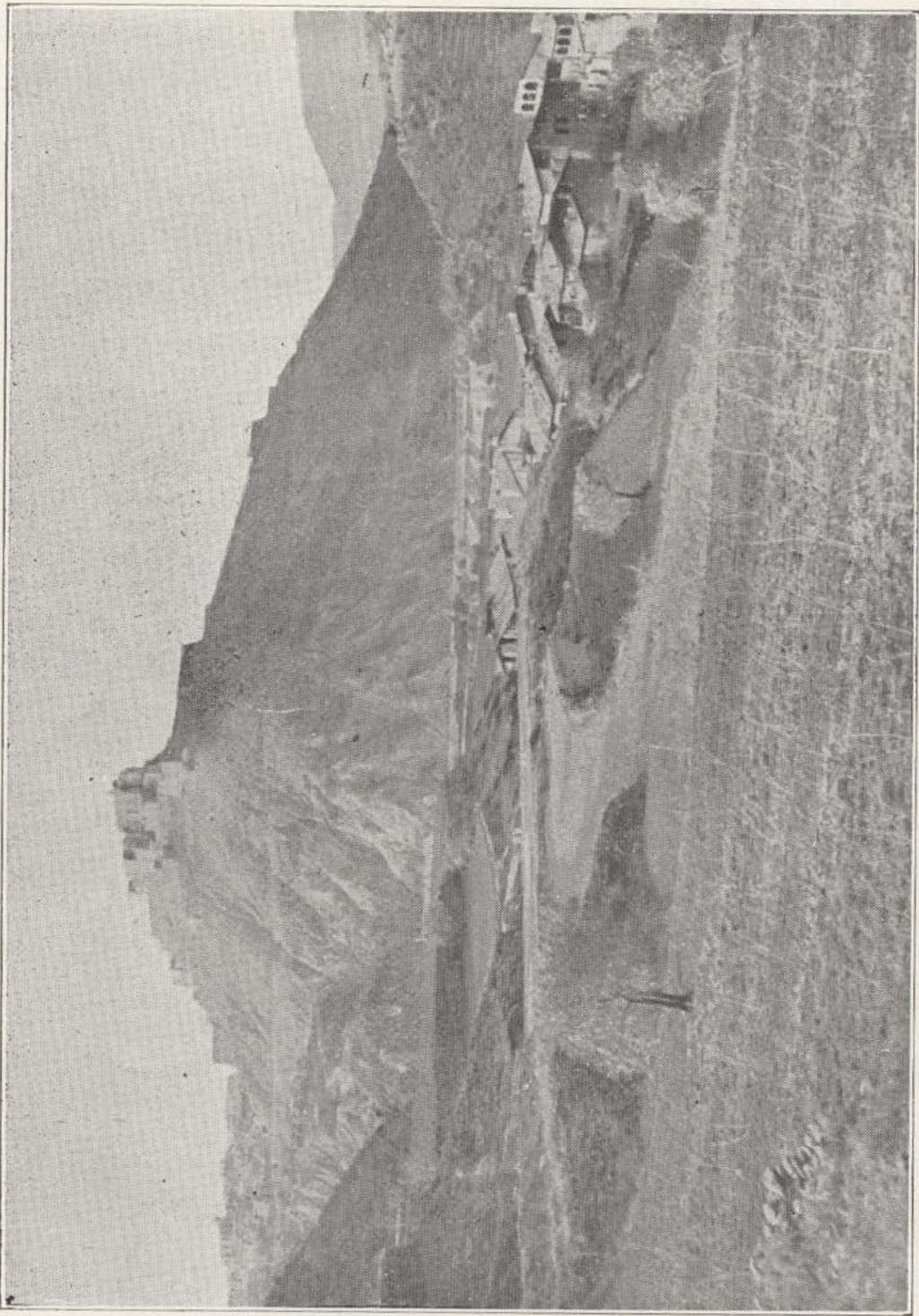


Salinas de Cardona.





Salinas de Cardona.



Fot. M. Faura y Sans.
Castillo de Cardona, construído sobre las margas y areniscas oligocenas.



Cardona, y creemos que en la parte alta se debe encontrar el tramo superior al de las margas rojas.

Acercándose al pueblo de Cardona, los bancos vuelven a inclinarse, pero con buzamiento al Sur, y antes de llegar al barranco en donde se hallan las famosas salinas, los bancos se presentan súbitamente verticales, a consecuencia de una falla que hemos podido reconocer en unos 10 kilómetros al O. del Cardoner. Los estratos se presentan en esta posición vertical, en unos 700 metros, y el eje de la falla forma un ángulo muy agudo, con otro accidente geológico, con el anticlinal, que pasa por el barranco en donde se hallan las salinas. Estos dos accidentes se encuentran un poco al O. de la casa de Llordella.

Siguiendo al N., los bancos aparecen otra vez con inclinaciones de 30 y 40° y buzando al S. en la margen S. del barranco de las salinas; así como en la otra margen, los estratos situados por debajo del Castillo y pueblo de Cardona, buzando al Norte.

Hemos representado (figuras 10, 11 y 12) tres cortes tra-

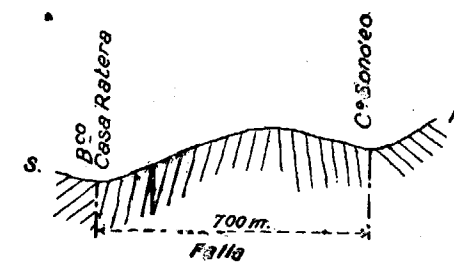


Fig. 10
Corte por el sitio del sondeo de Cardona

zados al O. de Cardona, en los que se ve claramente la forma y situación de los accidentes geológicos que acabamos de indicar.

Por ellos se puede apreciar que el anticlinal de Cardona, por encima de las salinas, está dividido en dos, aunque la denudación de toda la zona central haya podido en varios sitios ocultar este fenómeno.

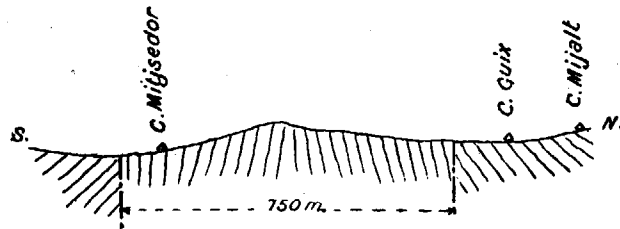


Fig. 11
Corte por la casa de Guix

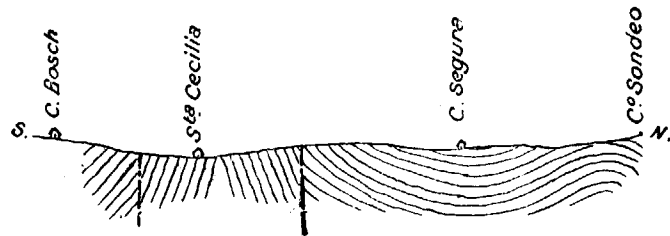
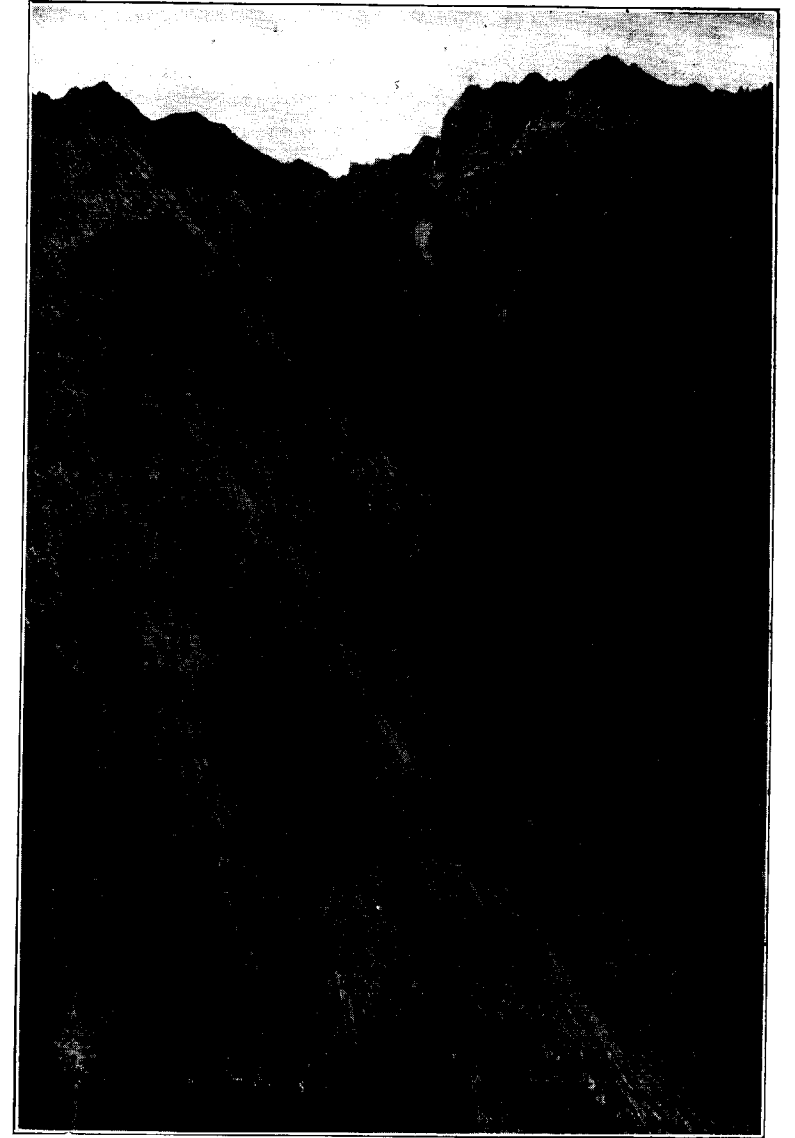


Fig. 12
Corte encima de la montaña de sal de Cardona

En toda esta zona de Cardona las inclinaciones y buzamientos de las capas varían a cada paso, pero en líneas generales se dibujan los dos accidentes que acabamos de indicar.

En el barranco de las salinas, aflora la sal, y fué antes objeto de explotación a cielo abierto. Se halla situada la sal estratigráficamente debajo de las margas grises y rojizas de las márgenes del barranco, debiendo su aparición a la denudación de la cúpula del accidente.

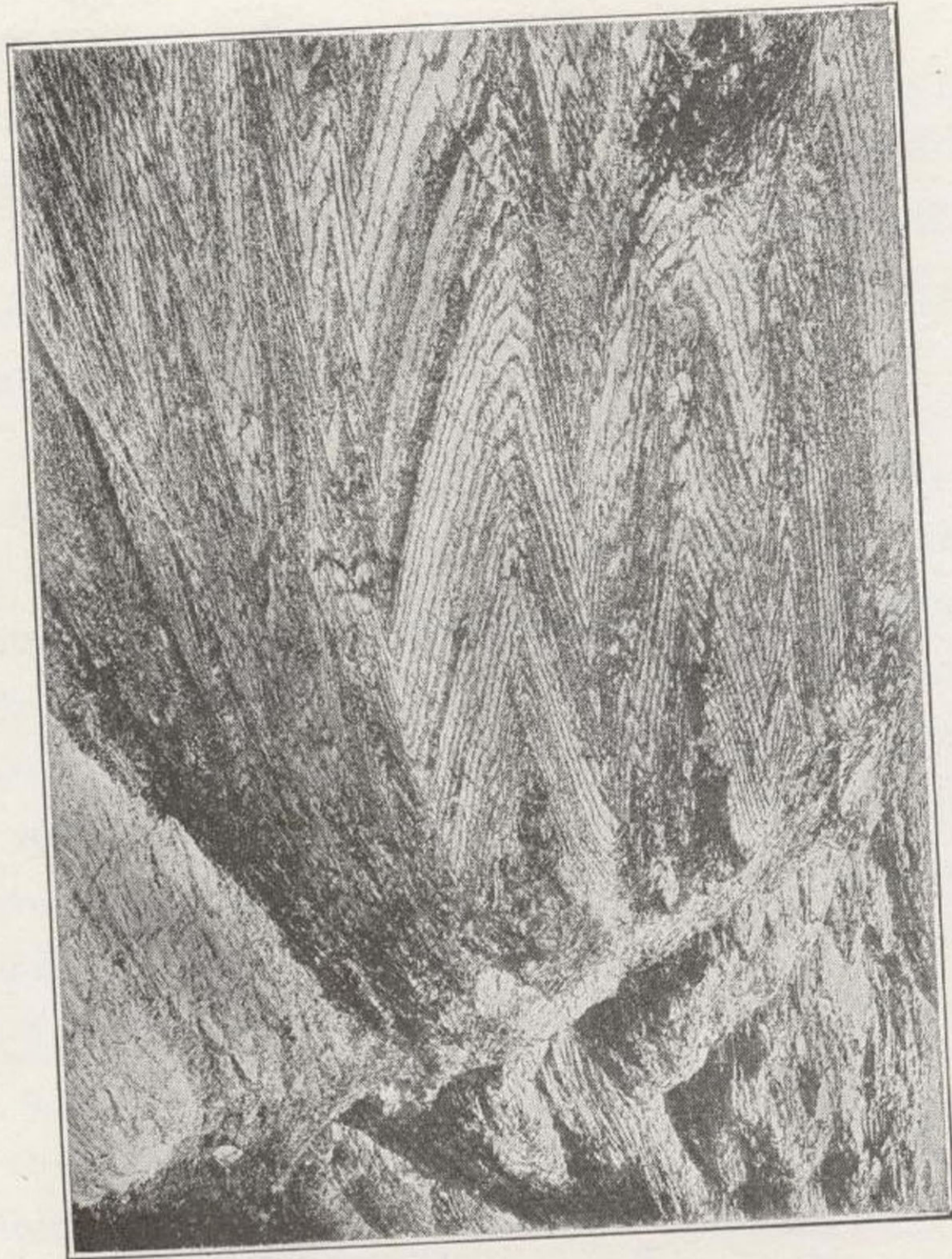


Cardona. Montaña roja



Cardona. Montaña roja





Cardona. Montaña Roja. Pliegues en la sal



La sal blanca potente que se encuentra hoy en explotación, es infrayacente a los bancos salinos que constituyen la llamada Montaña Roja, que toma este nombre por predominar en ella la sal de color rojo. La sal se presenta en esta montaña en pequeños lechos, alternantes con otros de arcilla y yeso y se observan en la superficie bolsadas y vetas de silvinita, algunas de gran espesor. Estos lechos se encuentran muy trastornados, en pliegues muy agudos indicando claramente la gran plasticidad de la sal.

Si se camina al O. de Cardona, el pliegue anticlinal subsiste hasta el Llobregós, pero no presenta la misma intensidad, aunque siempre muy marcado; por el contrario, al E. los estratos situados al otro lado del río Cardoner, tienden a formar una cúpula cuyo centro fueran las salinas, teniendo, según los sitios, buzamientos diferentes y hacia fuera, es decir, que aquí se ha formado otro eczema análogo al de Suria. Sin embargo, al E. de Cardona, hasta Puigreig, y aun al E. de este pueblo se nota una ligera ondulación en la prolongación del pliegue anticlinal.

Atravesando algo oblicuamente el Cardoner, se encuentra una falla cortada por el pozo que junto al río hizo la Sociedad de Industria y Comercio.

Esta Sociedad ha hecho tres pozos para cortar la sal potásica, nombrados: Manuela, Nieves y Romana en las concesiones de sus respectivos nombres. (Plano n.º 3). Con el más hondo se llegó a la profundidad de 120 metros sin que en él, ni en ninguno de los otros dos, se llegara al manto potásico. Hoy están suspendidos, y en cambio la referida Sociedad ha ejecutado varios sondeos inclinados en las salinas de Cardona y minas limítrofes que han puesto de manifiesto la existencia del manto potásico con gran potencia y con las dos sales: carnalita y silvinita en

ambas ramas del anticlinal aunque con más riqueza en potasa en la rama Norte.

La Sociedad ha comenzado la perforación de una galería con objeto tal vez de explotar el pequeño macizo de sales potásicas que se puede extraer sin recurrir a la perforación de pozo maestro (1). Es interesante hacer resaltar la presencia de sales potásicas aflorando en la superficie en pleno anticlinal, opuestamente a lo que sucede en Alemania en donde en los ejes de los anticlinales no se encuentra nunca potasa por haberla hecho desaparecer los agentes atmosféricos.

También conviene hacer resaltar la riqueza en potasa de las aguas que corren por el arroyo que atraviesa las salinas. La proporción de K_2O varía también mucho de unos días a otros, pero siempre en una proporción importante, lo que demuestra la gran cantidad de potasa que habrá sido arrastrada al mar durante tantos siglos de existencia.

He aquí algunos análisis de las aguas de alrededor de las salinas, proporcionados por la Sociedad Unión General de Explosivos:

(1) Hoy día ha comenzado la explotación del pozo maestro.

	RESIDUO por litro Gramos	K_2O	Cl	SO_3	CaO	MgO
Agua que circulaba por las salinas en 1913.	2,84	14,5	161,3	4,29	3,7	1,9
Id. id. id. en junio 1917	2,69	6,1	147,0	4,33	4,2	0,5
Fuente a 100 metros al Oeste de la Casa de Baño		0	4,26	0,32	0,28	0,18
Agua procedente de la Bofia grande		6,19	211,58	3,72	2,21	1,12
Agua de trabajos antiguos debajo del Castillo.		4,95	204,45	4,49	2,55	1,10



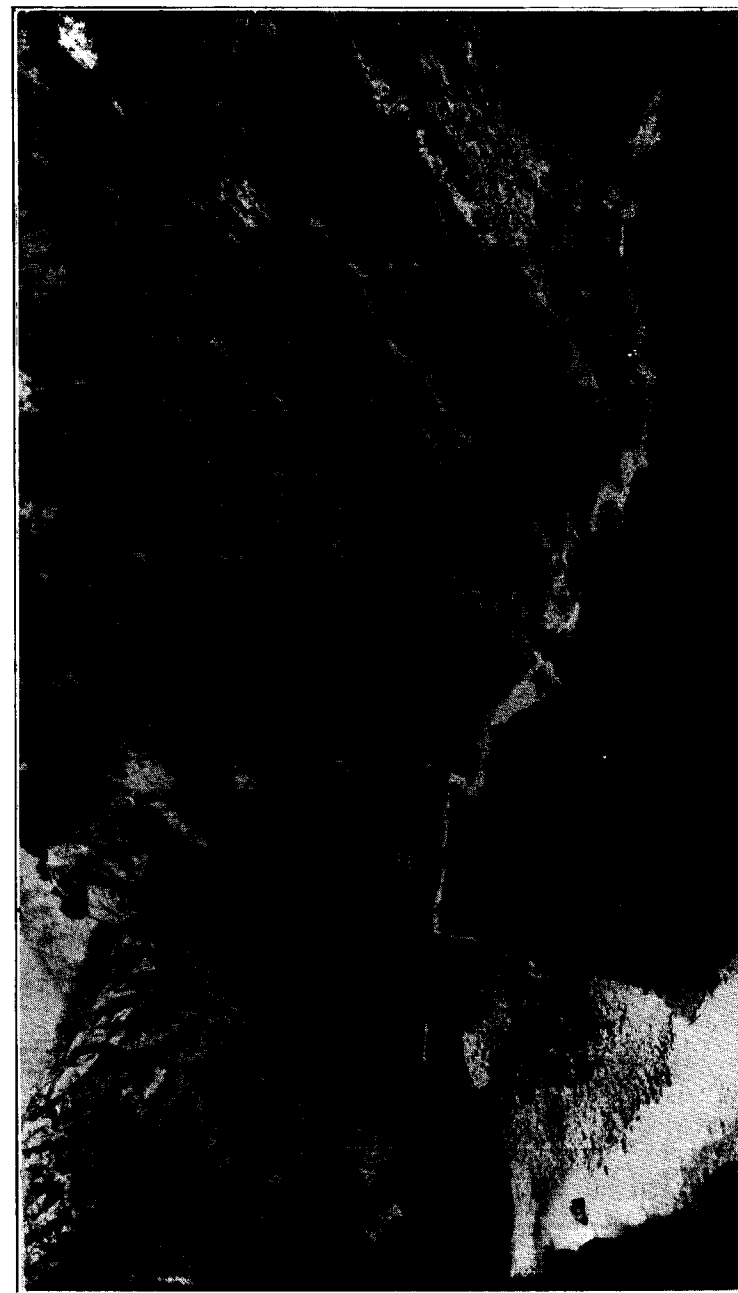
A 8 kilómetros al O. de estas salinas, se ha realizado por el Estado un sondeo en busca de potasa, del que nos ocuparemos más adelante; pero como los datos obtenidos en el referido sondeo arrojan alguna luz sobre la constitución estratigráfica de la cuenca, los hemos tenido en cuenta al trazar el corte que nos ocupa.

Caminando al N. del pueblo de Cardona, los estratos van perdiendo inclinación, colocándose horizontales; aparecen las molasas y margas grises. En sitio próximo a la torre de Artigales, nosotros hemos hallado una caliza gris oscura, muy fétida, y que se presenta en bancos estrechos; hemos recogido algunos fósiles difíciles de clasificar, correspondientes a los géneros *Melania*, *Melanoides* y *Planorbis*.

Los señores Maureta y Thos y Codina (1) han recogido en el caserío del Guix, situado a unos 4 kilómetros de Cardona y en las inmediaciones de un tejár, ejemplares de *Lymnaea*, *Planorbis* y *Melania*, y citan una *Melania* hallada en el sendero que de Cardona conduce a las salinas.

Caminando al N. por el río Cardoner y antes de llegar a Olius, a los bancos de margas, areniscas y calizas, se agregan los de conglomerados, al principio con cantos pequeños que, a medida que se camina al N., se van haciendo mayores. El cemento es calizo arcilloso. Enfrente a casa de Torres se ven unas margas rojizas, algo rosáceas, que llevan capitas de yeso fibroso, alternantes con bancos grandes de arenisca. Como a unos 2 kilómetros al N. de Olius, cerca del molino de Foix, los bancos se empinan, y se observa, como a 5 kilómetros del referido pueblo, un anticlinal con las ramas buzando a unos 45°. Las margas,

(1) Descripción geológica de la provincia de Barcelona, pag. 359.



Río Cardoner. Bancos oligocenos



Río Cardoner. Bancos oligocenos

las hay arcillosas, pero también las hay sabulosas.

Pasado este anticlinal, los bancos, vuelven a tomar su posición casi horizontal; pero al llegar cerca de San Lorenzo de Morunys, los bancos se vuelven a levantar, y frente a este pueblo se presenta un pliegue muy pronunciado de las margas y conglomerados. Este accidente es un pliegue isoclinal, que trae como consecuencia, no sólo levantar los bancos hasta la vertical, sino invertirlos. En el centro asoma el eoceno, muy bien caracterizado por fósiles.

Nosotros hemos podido recoger los siguientes:

Rostellaria multiplicata (Bellardi).

— *goniophora* (Id.)

Trochocyatus sensis (Tourn).

— *sinuosos* (Edew).

Fistulana Chice (Vidal).

Cardita Perezzi (Bell).

Cerithium giganteum (Lam).

Nummulites perforata (D'Orb).

— *biarritzensis* (D'Arch).

Y otros ejemplares de los géneros *Tellina*, *Trochocyatus*, *Cardita*, *Ampullina*, etc.

El banco de *nummulites* es muy importante. No se le observa bien en el río, pero sí a unos 2 kilómetros al Este. Allí también se observa muy cerca del referido banco un yeso muy blanco, fibroso, que parece sedimentario, y que debe corresponder al luteciense superior o yesos de París.

De los tres tramos en que clasifica el Sr. Vidal el numulítico catalán, corresponde al medio el afloramiento de San Lorenzo, o sea el de margas azuladas con *nummulites*, *operculinas*, etc., abarcando el ipressiense y el lute-

ciense. Este afloramiento eoceno se extiende mucho al E. estrellándose en las sierras cretáceas de Berga.

Es interesante la particularidad paleontológica descubierta por el Sr. Vidal y que tiene un gran interés estratigráfico. Habiendo hallado en San Lorenzo y en otras localidades un fósil del género *Fistulana* (Bruguière); lo estudió detenidamente, y en una nota elevada a la Real Academia de Ciencias, en Barcelona, en 1882, dió cuenta de la constitución orgánica de este animal. Posteriormente hizo resaltar la diferente colocación en que se encuentra este fósil en los bancos que lo contienen, pues teniendo vivo una posición bien definida, se le ha encontrado fósil

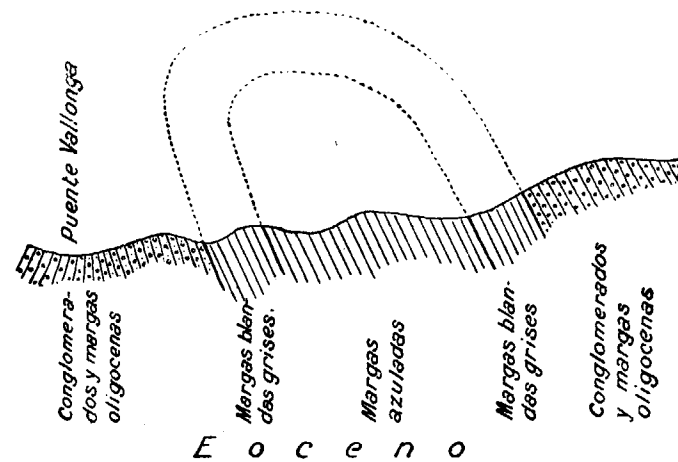
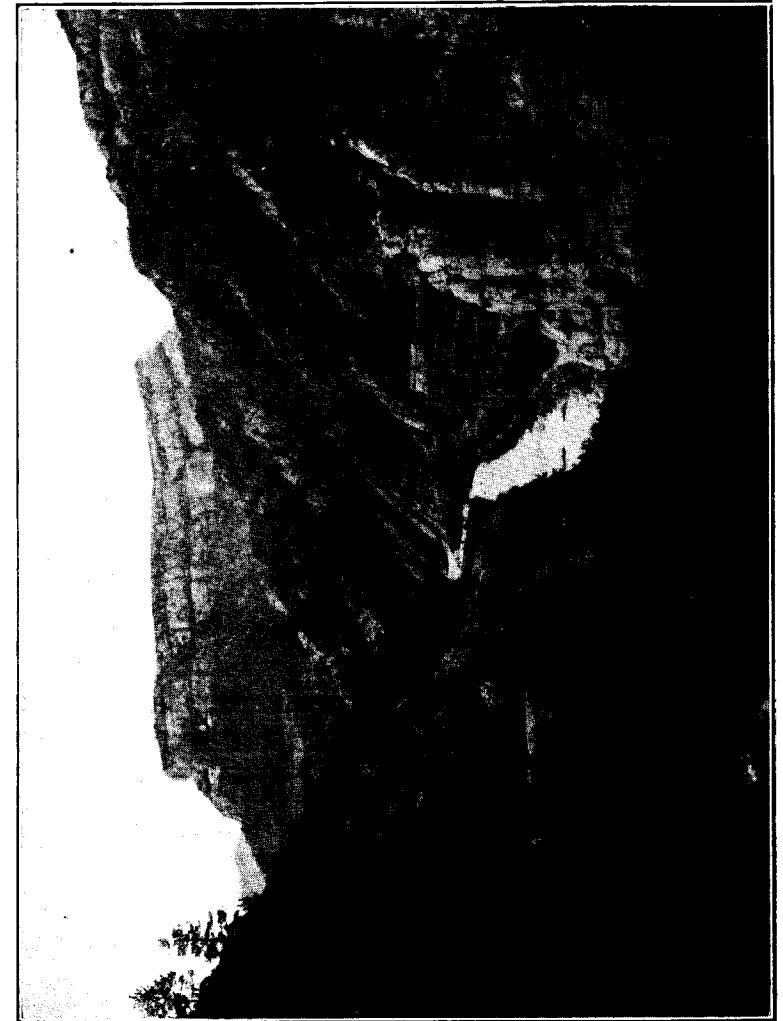


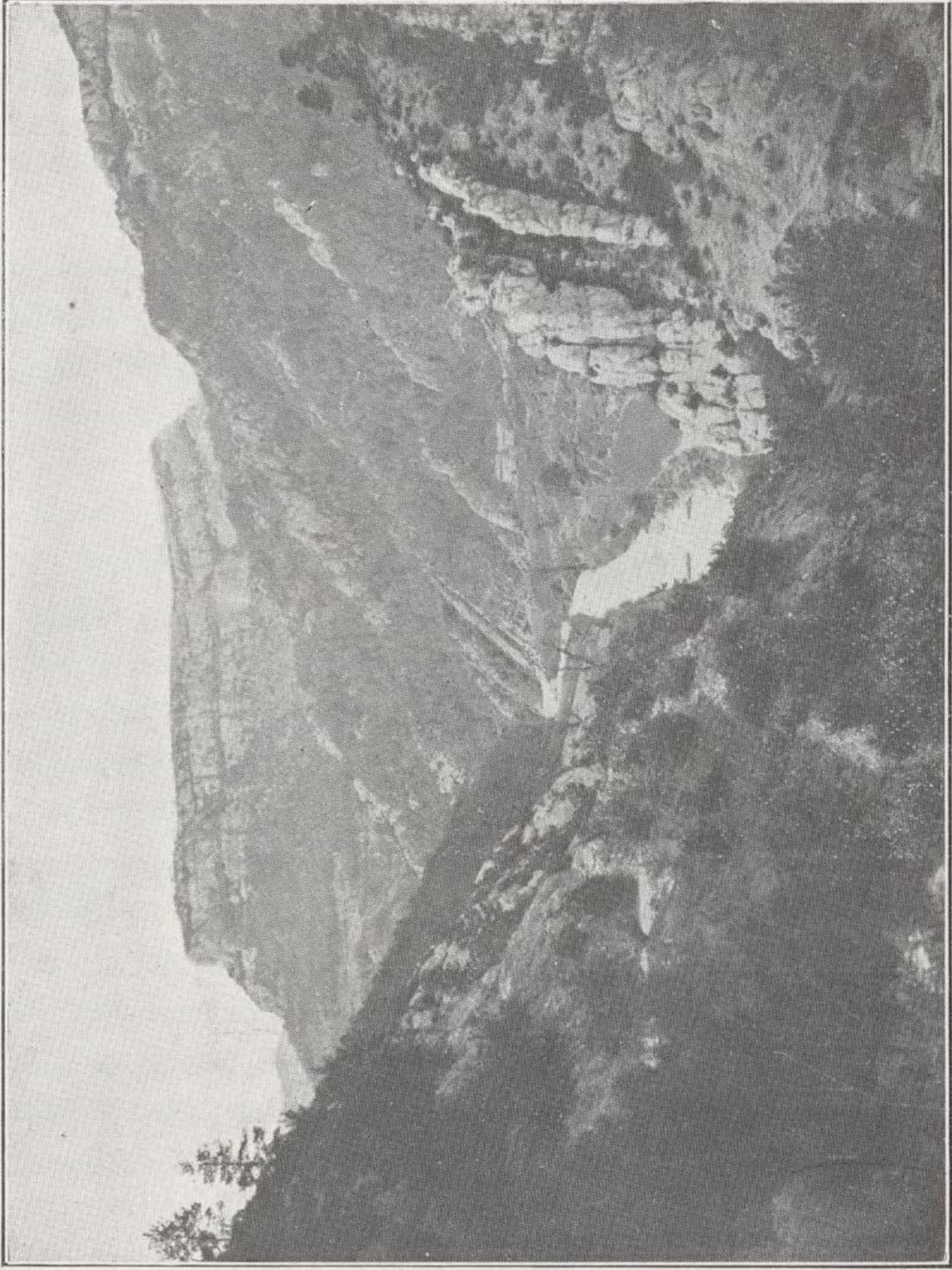
Fig. 13

Corte por el río Cardoner

en algunos bancos en su posición normal, pero en otros se le ha hallado en posición invertida, lo que demuestra claramente que con la fuerte conmoción sufrida, llegaron los estratos a volcarse, comprobándose de este modo, con razones paleontológicas, la existencia del gran pliegue isoclinal expresado en la figura 13.



En primer término conglomerados oligocenos. Río Cardoner.
San Lorenzo de Morunys



En primer término conglomerados oligocenos. Río Cardoner.
San Lorenzo de Morunys

Al N. del isoclinal de San Lorenzo, los conglomerados y margas oligocenas aparecen en poca extensión y con poca potencia. Descansan sobre las margas y calizas del senonense. Sin embargo, muy cerca del pueblo de Comá, se encuentra el terreno triásico del modo característico que ya hemos indicado se presenta en los Pirineos, y que tiene mucha semejanza con el modo de aparecer en el Norte de África.

Son isleos que han roto la continuidad de los terrenos secundarios y terciarios. En Comá aparecen margas yesosas y sal común. Esta última ha sido objeto de investigación por sondeo, sin que se haya encontrado sal potásica.

El segundo corte lo hemos trazado siguiendo la carretera de Igualada a Calaf, y siguiendo después como a dos kilómetros al E. la carretera de Calaf a Pons, y desde este sitio, siguiendo la que va a La Seo de Urgel, hasta llegar a los terrenos secundarios que limitan por el Norte la cuenca oligocena.

En Igualada, están las areniscas y margas grises y rojo oscuro superpuestas a las margas azules del eoceno medio. Después aparecen los yesos en Copons. En Prats del Rey se ven calizas y molasas y margas rojas con *Lymnæa Planorbis* y un banco con *Melanoides albigensis*.

Los Sres. Maureta y Thos dividieron el terciario de Calaf, que lo atribuían en todo su conjunto al proiceno, o sea al eoceno superior, en los siguientes horizontes de abajo para arriba: primero, conglomerado con intercalaciones de arcillas y calizas; segundo, yeso y margas; tercero, arcillas y molasas de color rojo, calizas con *Planorbis*, *Lymnæas*, *Melania*s y lignitos.

Nosotros creemos que hay yesos que están encima de los conglomerados, con frecuencia fibrosos, así como hay

otros que deben estar debajo, presentándose éstos, en general, más trastornados.

El Sr. Bofill (1) encontró el primer resto de mamífero en las capas ligníferas de Calaf. A este descubrimiento siguieron otros que dieron por resultado poder referir los estratos en donde se hallaron al sannoisiense u oligoceno inferior.

El Sr. Deperet (2), con ejemplares presentados por los Sres. Vidal y Bofill, consideró compuesta la fauna oligocena de Calaf por los siguientes fósiles:

MAMÍFEROS: *Ancodus Aymardi* (Powell).

— *Diplobune minor* (Filhol).

MOLUSCOS: *Melanooides albigensis* (Noulet).

— — *accitanicus* (Fontannes).

— *Striatella Nusti* (Duchastel).

— *Vivipara-f. fericinensis* (Noulet).

Las capas de lignito se encuentran en la parte alta y componen tres o cuatro grupos de lechos carbonosos de pequeño espesor. Alternan con margas rojizas, con molasas grises o verdosas, que son las que contienen los fósiles, calizas sin ellos, en hiladas de pequeña potencia y margas grises. Todo este horizonte se presenta casi horizontal, formando una pequeña cuenca en sinclinal.

Bajando al Llobregós, se encuentran las margas rojas y grises, que en sitios pasan a arcillas, molasas y areniscas. Ya cerca del Llobregós, se cortan las margas yesosas y yesos, que alcanzan en el río un gran desarrollo.

No seguimos el corte por el Llobregós, porque éste cir-

(1) «Boletín de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona». Abril, 1907.

(2) Faja numulítica del macizo antiguo de Barcelona.

B CAT

Sondeo Torà



af con lignit
; y conglome

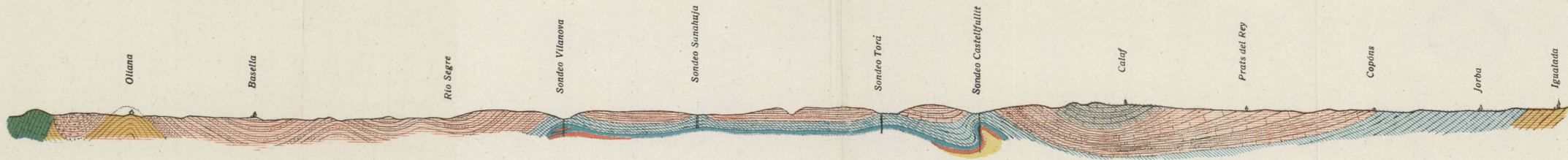










vado imrayacento al depósito potasio. Además, la silvina se encuentra con preferencia en el centro, o sea en la parte que debe ser más baja del criadero, lo que concuer-

(1) Contribución al estado oligoceno de Cataluña.

SALES POTÁSICAS DE CATALUÑA

Corte núm. 2



-  Calizas y areniscas de Calaf con lignitos
-  Areniscas rojas con calizas y conglomerados
-  Margas yesosas y yesos
-  Margas y sal común
-  Zona potásica
-  Sal común
-  Eoceno
-  Cretáceo

Escala { horizontal 1:200.000
vertical 1:100.000

cula por el eje de un anticlinal hasta cerca de Pons, y sólo se ven en sus orillas los yesos. El corte, en la parte hasta ahora descripta, coincide con el de los Sres. Vidal y Deperet (1).

A un kilómetro al E. de Castellfullit, muy cerca de casa Marqués, se ha efectuado por el Estado un sondeo muy interesante, que a causa de haber encontrado los terrenos muy dislocados, no ha arrojado sobre la estratigrafía de la cuenca toda la luz necesaria.

Se atravesaron, en primer lugar, 430 metros de margas grises, con gran abundancia de yesos; siguió a este horizonte otro de 46 metros de margas con sal común, en capitas e intercalaciones de todas formas. Se atravesaron después bancos de sal común y margas, con algo de anhidrita, en lechos muy delgados y revueltos, que constituyen el pendiente del yacimiento. Tiene un espesor este horizonte de 70 metros, y una inclinación media de 60 a 70 grados.

La sal potásica se empezó a cortar a los 546 metros, y alternante con margas y sal común se atravesaron 317 metros. Atravesada la zona potásica, se volvieron a cortar bancos estrechos de margas y sal común en 31 metros, suspendiéndose el sondeo a los 894 metros de profundidad.

Creemos que interpretamos bien el sondeo suponiendo que se ha cortado el yacimiento en un pliegue. En efecto, superpuesto al criadero potásico, se halla el mismo horizonte de banquitos de margas y sal común, que se ha cortado infrayacente al depósito potásico. Además, la silvinita se encuentra con preferencia en el centro, o sea en la parte que debe ser más baja del criadero, lo que concuer-

(1) «Boletín de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona». Abril, 1907.

(2) Faja numulítica del macizo antiguo de Barcelona.

(1) Contribución al estado oligoceno de Cataluña.

da con la forma de presentarse en otras partes. Y se observa que en el centro también de la zona potásica se encontró una sal blanca con algunas inclusiones de sal potásica, pero que, por su cristalización y modo de presentarse, parece el principio del gran banco de sal blanca que forma el yacente del criadero potásico.

El sondeo se realizó un poco al S. del eje del anticlinal. En el centro de éste aparecen los yesos formando los montes próximos.

Entre Torá y Castellfullit se presenta un sinclinal en el tramo de las margas y areniscas rojas. A medida que se camina hacia Torá, los bancos, pasado el sinclinal, se enderezan buzando al S. y en el barranco de Pinós, que se une en Torá con el Llobregós, se vuelve a ver otro anticlinal muy marcado, apareciendo también los yesos en el eje.

Sobre la rama N. de este anticlinal, pero muy cerca de su eje, se ejecutó un sondeo por el Estado. Se llegó a una profundidad de unos 1.200 metros, y se cortaron los terrenos siguientes:

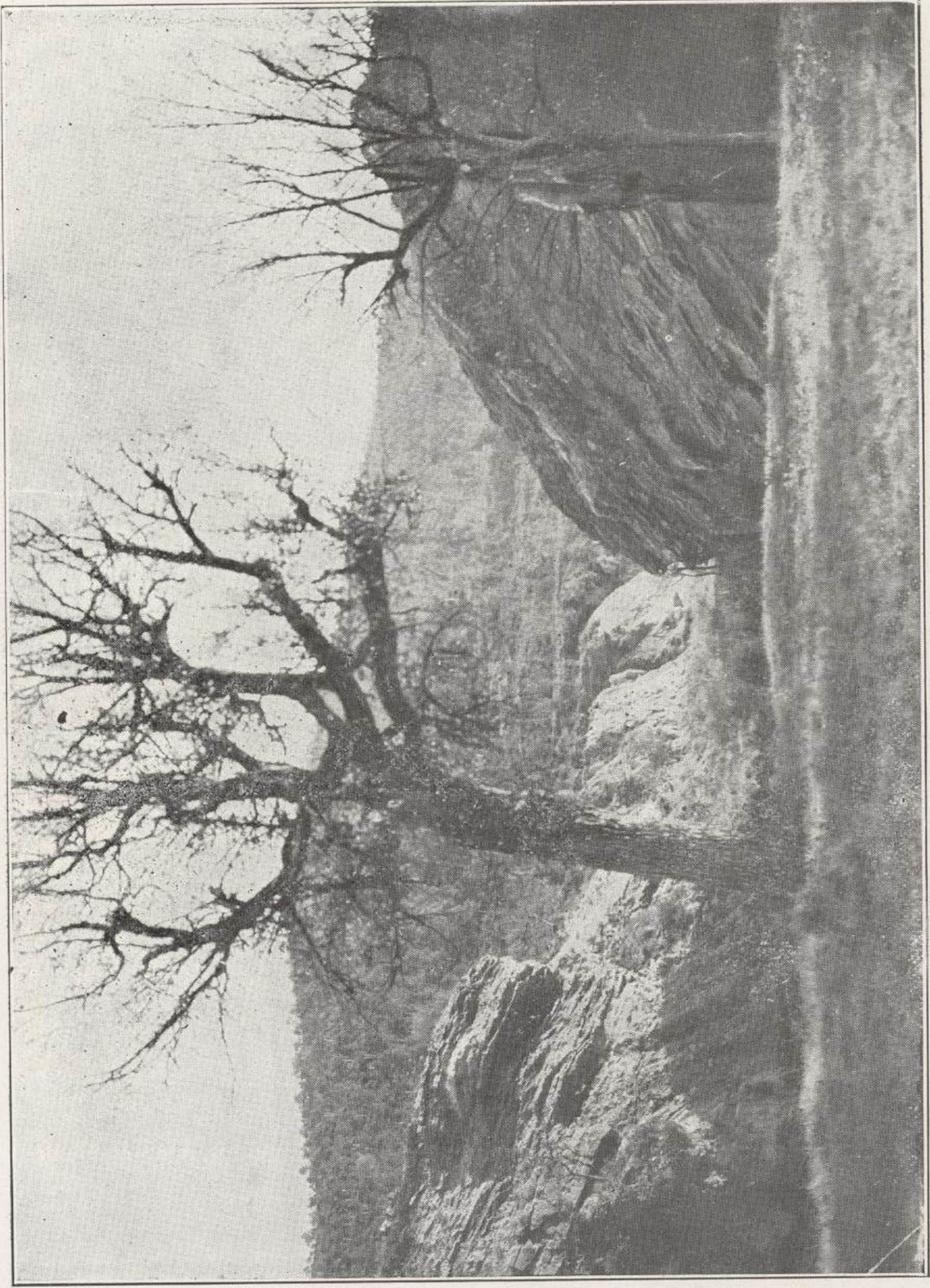
- 91 metros margas rojas y grises, con algún banco de caliza.
- 49 — margas rojas, con areniscas.
- 84 — margas azules, grises y rojas, con yesos.
- 109 — margas grises y azules, con lechos de arenisca y caliza.
- 867 — alternantes de anhidrita, margas grises y sal con nódulos de esta última.

Es interesante hacer resaltar la gran potencia que alcanza este último tramo. En toda su longitud tiene igual constitución, diferenciándose únicamente en la preponderancia, en ciertas partes, de una de las tres rocas, sobre las demás.

Por la estructura de este tramo, parece ser el superior



Vilanova la Aguda. Rama Sur del anticlinal, en donde se perforó el sondeo n.º 3 uno de los cuatro ejecutados por la Sociedad Fodina en término de este pueblo



Vilanova la Aguda. Rama Sur del anticlinal, en donde se perforó el sondeo n.º 3 uno de los cuatro ejecutados por la Sociedad Fodina en término de este pueblo

al yacimiento potásico, y juzgamos probable que si se hubiera prolongado este sondeo, hubiera cortado potasa; pero teniendo en cuenta que el criadero se encontraría a profundidad inexplorable, habiendo perdido todo interés industrial, se juzgó conveniente suspenderlo, considerando el precio elevado de la perforación a esas honduras.

A profundidades superiores a 1.000 metros, se cortaron algunos restos de fósiles vegetales en las margas grises y gotas de agua que parecen indicar la proximidad de la orilla.

En Sanahuja, próximamente en el centro del sinclinal comprendido entre los anticlinales de Torá y Vilanova la Aguda, realizó la Sociedad Fodina un sondeo que sólo llegó a una profundidad de 785 metros, a consecuencia de averías que tuvieron en la máquina.

Los terrenos atravesados, fueron:

- 56 metros margas grises, con areniscas en pequeños bancos.
- 12 — yeso con arenisca.
- 133 — margas grises, con yeso, anhidrita y arcilla, y en la base una capa de 0,70 con carnalita y yeso.
- 18 — sal común muy impura.
- 34 — de arcilla roja.

Y los restantes sal con anhidrita, yeso, margas y arcilla.

A 404 metros y 469 metros de profundidad se hallaron trazas de potasa.

Al norte del anticlinal de Cardona-Pinós-Castellfullit se nota una ligera ondulación puesta bien de manifiesto al Norte de Biosca. Pasa el eje al Sur de casa Colominas, por casa Puig y Llanera del Arroyo. La iglesia de Santa María está en la rama Sur. Tiene dirección E.-O. y las ramas presentan una inclinación de unos 8°.



Por el pueblo de Vilanova la Aguda, pasa el eje de un anticlinal muy marcado. Aparecen en el centro los yesos. Las aguas del arroyo que sigue el eje de este anticlinal son muy saladas. Uno de los manantiales fué explotado como yacimiento de sal común, evaporando el agua.

La Sociedad Fodina realizó cuatro sondeos en las proximidades del eje de este anticlinal, cuyos resultados fueron algo diferentes.

En el sondeo que primero ejecutaron cortaron los terrenos siguientes:

- 32 metros yeso con arcilla roja y pequeños bancos de arenisca.
- 154 — margas de varios colores, con yesos y pequeños bancos de arenisca.
- 21 — margas pizarreñas arcillosas, con anhidrita.
- 95 — sal común y anhidrita, teniendo en la base un banco de arcilla de 3 metros de espesor.
- 12 — zona potásica.
- 337 — sal común blanca, con lechitos de margas y anhidrita.
- 13 — sal común blanca, con potasa, anhidrita y arcilla.
- 16 — sal común.
- 4 — sal con silvinita.
- 67 — sal común, con trazas de anhidrita y marga.

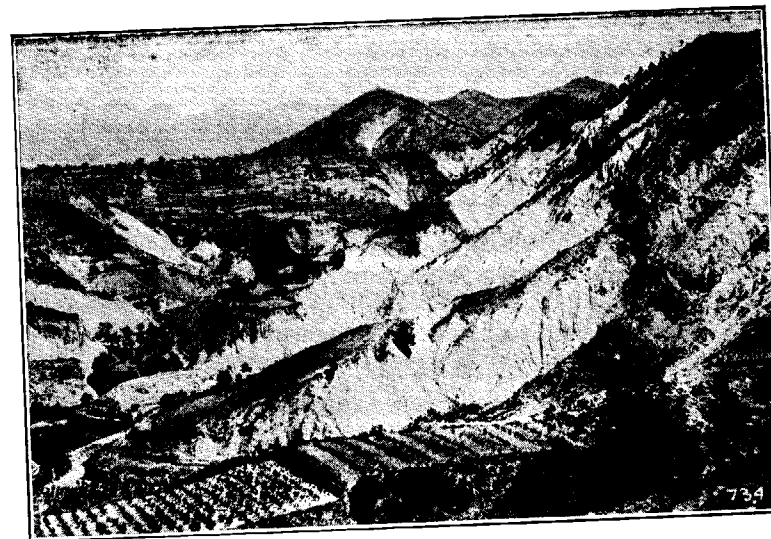
Se alcanzó una profundidad de 751 metros.

En el sondeo número 2 la sal se empezó a cortar a los 450 metros. A los 692 metros se encontró una veta de sales potásicas de 5 metros de espesor. Por bajo de ella, en 95 metros, se cortó sal común con trazas de potasa. El sondeo alcanzó una profundidad de 843 metros.

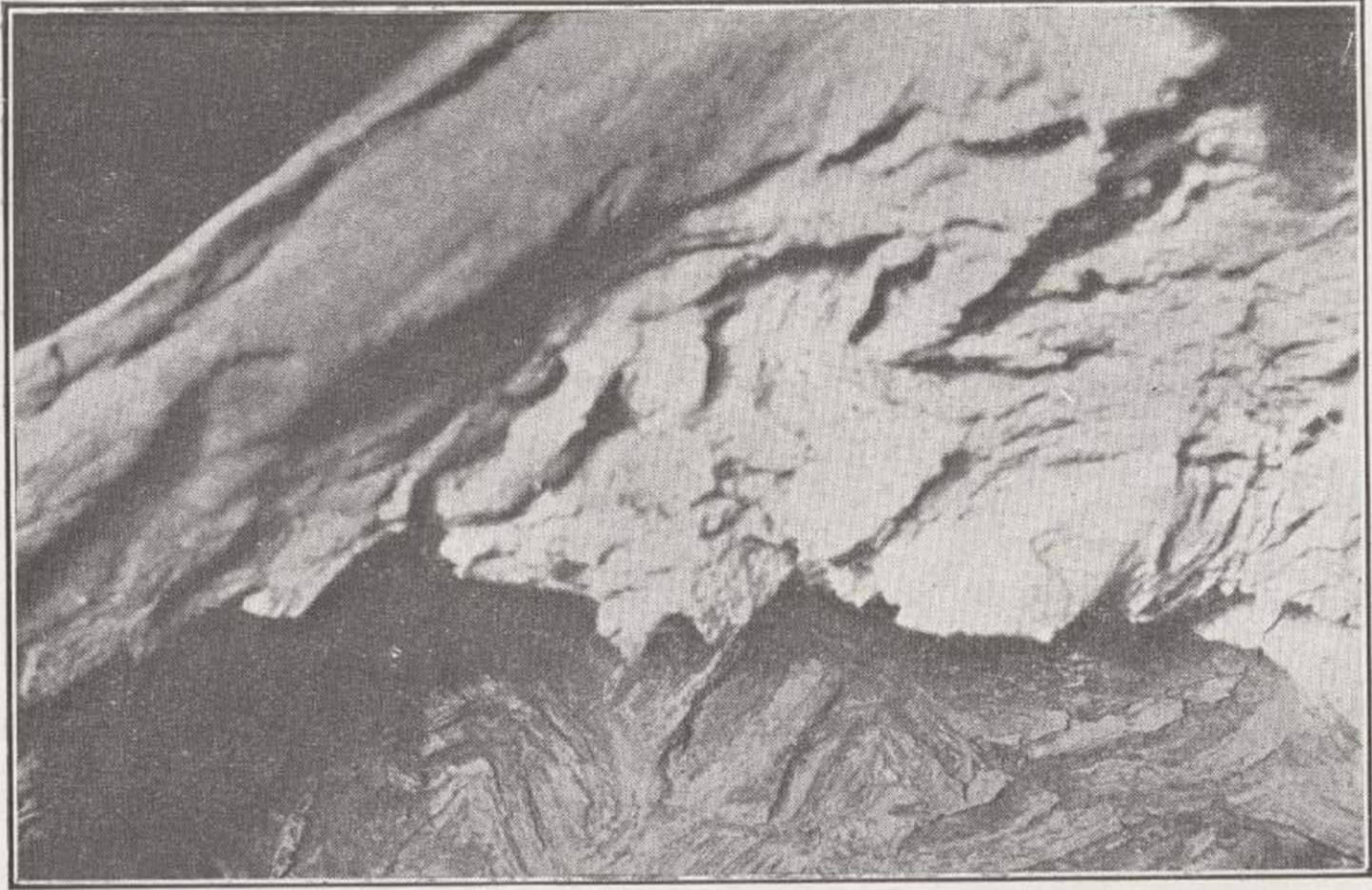
El sondeo número 3 se situó en la vertiente N.-O. del



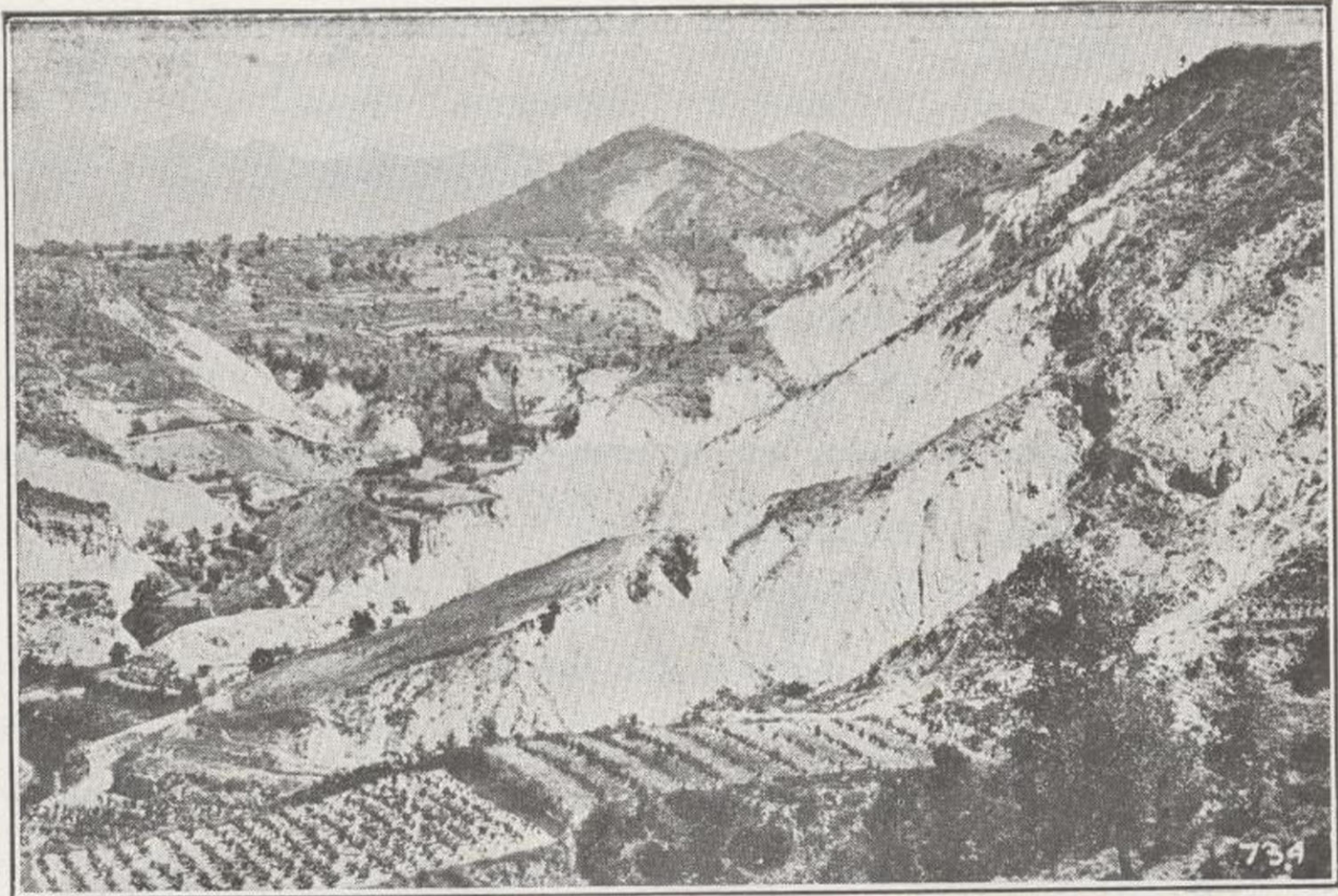
Cueva en yesos. Próxima a El Gos. Anticlinal de Pons.



Oliana. Contacto de las margas cretácicas con los estratos eocenos.



Cueva en yesos. Próxima a El Gos. Anticlinal de Pons.



Oliana. Contacto de las margas eocenas con los estratos oligocenos.

anticlinal de Vilanova, junto a casa Bosch. Llegó a una hondura total de 873 metros, y no tuvo buen éxito. La sal común se empezó a cortar a los 314 metros, alternante con margas abigarradas y anhidrita. Se hallaron a 400 y a 619 metros de profundidad trazas de carnalita.

El sondeo número 4 se comenzó cerca de casa Pera, y en la rama NO. del anticlinal. Sólo llegó a 450 metros, cuando se cortaban las primeras vetas de sal común, por dificultades materiales en la ejecución del sondeo.

Como se ve, en estos sondeos se cortó la sal de 200 a 450 metros de profundidad, según el sitio del sondeo, y en unos se hallaron vetas explotables de carnalita y silvinita, y en otros no. En el situado al O. no se halló potasa, o sea en el más próximo al Llobregós. Ya hemos dicho que en los sondeos de Sanahuja y Torá tampoco se encontró potasa, lo que parece indicar que, junto al referido río, la potasa debió ser disuelta por las aguas. En todos estos sondeos del Llobregós se observa la gran potencia del tramo de las vetas de sal alternantes con margas y anhidrita, ya presenten o no vetas o trazas de potasa.

Antes de llegar a Tiurana y al N. de este pueblo se observan otros dos anticlinales, el último con sus ramas buzando unos 20°. Aparecen ya los conglomerados sustituyendo lateralmente a las areniscas y calizas.

Siguiendo el Segre, en Oliana, se observa un anticlinal (fot.) muy pronunciado que ha traído, como consecuencia del pliegue, la aparición de las margas azules del eoceno medio y un pequeño asomo liásico, habiendo sido erosionada la cúpula oligocena. Se presentan en el eoceno fósiles no bien conservados, pero correspondiendo su fauna a la bien conocida de Vich y San Lorenzo de Morunys. Nosotros hemos podido determinar los siguientes: *Cardita Perezi* (Bell), *Prionartræa irregularis* (Edw y Haim),

Schizaster lucidus (Laube), algún trozo de *Fistulana*, foraminíferos y bryozoarios.

El manchón eoceno de Oliana se destaca perfectamente en el terreno por su color gris claro en el fondo rojizo del oligoceno.

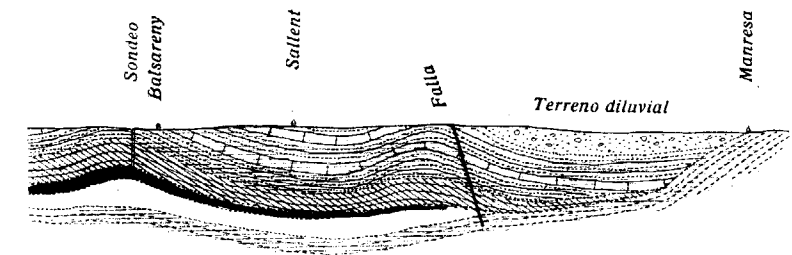
Los conglomerados oligocenos, un poco levantados y buzando al S., se apoyan en el borde sobre los estratos secundarios.

El tercer corte está próximamente trazado siguiendo el río Llobregat. Tiene también dirección N.-S. Empieza por el S. en el eoceno de Manresa; se observan luego los depósitos diluviales recubriendo en su mayor parte a los estratos oligocenos, en el valle del referido río, hasta cerca del pueblo de Sallent. Se nota junto a la carretera de Sampedor un pequeño accidente muy localizado, pero que ha motivado cambios en la dirección y buzamiento de los estratos.

Al Sur de este pueblo, próximamente en el punto de bifurcación de la carretera a Plá de Llusanés con la de Manresa a Berga, pasa el eje de un anticlinal, cuya rama Sur está en gran parte erosionada. Sigue al E. del referido eje el arroyo Gabarresa, y por el O. pasa a Callús. Al Norte de Sampedor, como a medio kilómetro, se presentan las margas con fósiles, y como a 2 kilómetros, también al N., se presentan algunas vetas lignitíferas.

En el cementerio del pueblo de Sallent se ven en las margas calizas grises con *Melanoides albigensis* (Noulet) y *Melania barjacensis* (Fontannes) y restos de *Planorbis*, *Limnæa*, etc. y esta misma fauna se observa en diversos lugares; entre otros junto a casa de Solá. A la salida del pueblo en dirección a Balsareny, en la margen izquierda del Llobregat se encuentra el *Melanoides albigensis* (Noulet). Todos los estratos que se presentan en los alrededores

ATALUÑA



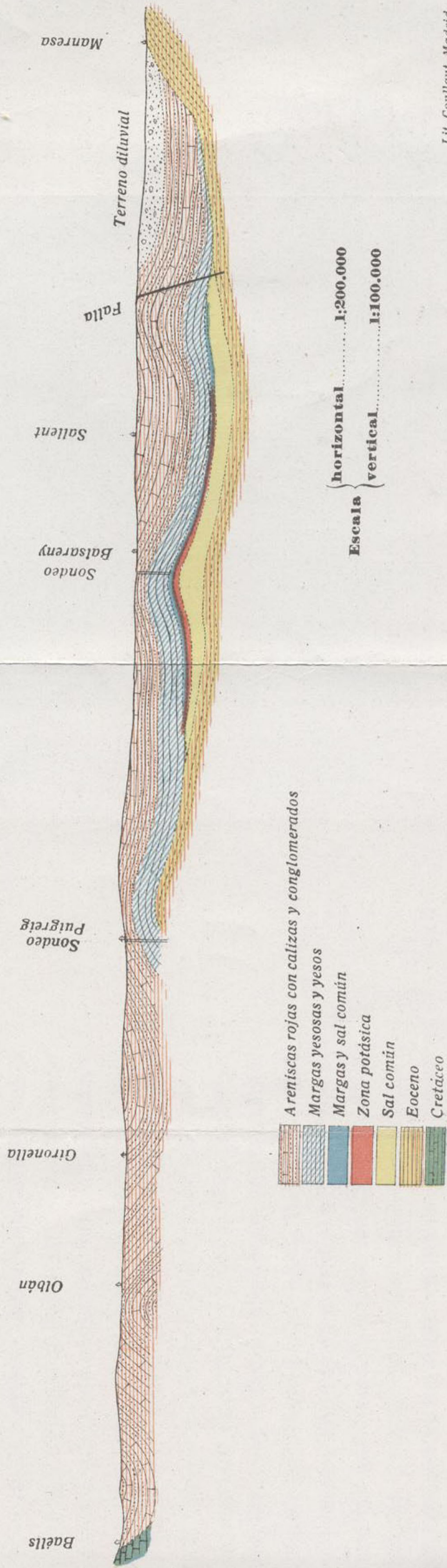
Escala { horizontal 1:200.000
vertical 1:100.000

Lit, Coullaut Madrid.

- de bastantes cloruros.
- 70 — margas rojas y grises, con areniscas y algún banco de caliza.
 - 131 — margas grises con arenisca.
 - 61 — margas grises y rojas, con algo de arenisca y anhidrita.
 - 103 — margas rojas, con algunas grietas rellenas de sal y algo de yeso y arenisca.

SALES POTÁSICAS DE CATALUÑA

Corte núm. 3



- Areniscas rojas con calizas y conglomerados
- Margas yesosas y yesos
- Margas y sal común
- Zona potásica
- Sal común
- Eoceno
- Cretáceo

Escala { horizontal 1:200.000
vertical 1:100.000

Lit. Coullaut Madrid.

res de este pueblo corresponden al tramo de las margas rojas y grises con areniscas y calizas.

Al NO. de Sallent, en los montes que forman la divisoria entre los ríos Llobregat y Cardoner, se ve un banco muy fosilífero con *Melanoides albigensis* (Noulet).

Siguiendo el corte al Norte se siguen atravesando estos mismos materiales, y al llegar a Balsareny los estratos se empiezan a empinar buzando al S., y como a 2 kilómetros al N. de este pueblo, pasa el eje de un anticlinal, que es el mismo que pasa por Suria y que sigue al E. hasta perderse, pasada la Abayá de Abás, en una ligera ondulación.

En las margas grises existentes en toda esta parte, se observan ejemplares de la fauna oligocena ya descripta. Casi en el mismo eje, junto a la carretera, hay una marga muy caliza, con fósiles, aunque en muy mal estado de conservación. También los hemos podido recoger pasada la Abayá de Abás, en Avinyó, y en otros varios sitios. El anticlinal al E. no presenta las ramas tan inclinadas como en Suria, aunque su paso se aprecie de un modo perfectamente claro.

En la rama S. el Estado ha ejecutado un sondeo, en el que se han cortado los terrenos siguientes:

- 81 metros margas rojas, con areniscas y yesos.
- 194 — margas rojas y alguna gris, con areniscas e indicaciones en las aguas de la existencia de bastantes cloruros.
- 70 — margas rojas y grises, con areniscas y algún banco de caliza.
- 131 — margas grises con arenisca.
- 61 — margas grises y rojas, con algo de arenisca y anhidrita.
- 103 — margas rojas, con algunas grietas rellenas de sal y algo de yeso y arenisca.

En el cementerio del pueblo de Sallent se ven en las margas calizas grises con *Melanoides albigensis* (Noulet) y *Melania barjacensis* (Fontannes) y restos de *Planorbis*, *Limnaea*, etc. y esta misma fauna se observa en diversos lugares; entre otros junto a casa de Solá. A la salida del pueblo en dirección a Balsareny, en la margen izquierda del Llobregat se encuentra el *Melanoides albigensis* (Noulet). Todos los estratos que se presentan en los alrededores

33 metros margas, con anhidrita y sal común.

0,90— sal común, con anhidrita y marga en lechos muy delgados, con trozos y vetillas de sales potásicas.

18 — zona de carnalita, con sal común, margas y algo de silvinita.

17 — zona de carnalita.

24 — zona de carnalita, con silvinita (en la base sólo silvinita).

48 — sal blanca.

Este sondeo llegó a la profundidad de 781 metros. Las inclinaciones varían entre 10 y 30°.

Los bancos, pasado el pueblo de Navás, principian a buzar al S., y así siguen hasta 2 kilómetros antes de llegar al pueblo de Puigreig, que se ponen horizontales, pero inmediatamente de pasado este pueblo, los bancos buzan al N., marcándose así un anticlinal con una cúpula anchísima. Pasado Navás, vuelven a aparecer los conglomerados, al principio con los cantos muy finos y muy separados, y luego más gruesos y juntos.

Inmediato al pueblo de Puigreig y al río Llobregat se ejecutó por el Estado un sondeo que llegó a la profundidad de unos 800 metros. Los terrenos atravesados en él fueron los siguientes:

Arcillas y grava	6 metros	
Margas grises y rojas con calizas y areniscas	229	—
Margas rojas y calizas con algunas pequeñas vetas de yesos	196	—
Areniscas, algunas muy duras, con pequeñas intercalaciones de margas	51	—
Margas grises, areniscas, calizas con gran cantidad de yesos	53	—
Roca detrítica de elementos pequeños y ma-		

ciños con cemento calizo con *Nummulites striatus contortus*, *N. globulus*, *Pecten* y restos de nácar 35 metros

Marga oscura con algún banco de arenisca y con restos carbonosos y de moluscos, escasos 18 —

Marga azulada con algún banco de arenisca y con *Operculina ammonica*. (Leym), *Actinocyclus radians*, *Ac. pingüis* (Douv), *Serpula spirulaea*, escamas de pez, *Astarte*, *Venus*, *Nassa*, *Pleuronectia*, *Chlamys*, *Pholadomia*, etc 42 —

Marga de grano muy fino con algún molusco 42 —

Arenisca muy tosca y algún banco de marga. 10 —

Marga de grano fino con muchos moluscos *Xeuthopsis* y *briozoarios* 72 —

Marga azulada de grano fino con *Actinocyclus radians*, *Ac. pingüis*, *Pecten*, etc. 26 —

Marga azulada con muchos moluscos 47 —

Los bancos se cortaron horizontales.

Este sondeo llegó a la profundidad de 827 metros. Los cinco primeros horizontes o sea hasta la profundidad de 535 metros pertenecen al oligoceno, tramo *sannoisense*, y representan muy bien a los horizontes situados encima de la sal en toda la cuenca. En cambio los horizontes fosilíferos que acabamos de indicar corresponden todos al eoceno superior, tramo priaboniense. Los foraminíferos determinan con exactitud este tramo (1). Por consiguiente se comprendió perfectamente al llegar el sondeo a los 600 metros, en que se reconoció con claridad la presencia del priaboniense, que no había posibilidad de cortar

(1) La opinión de los Sres. Douvillé, Dollfus, Harbort, Faura, Gómez Lluca, Hernández Sampelayo, Gavala, coincide en un todo con esta manifestación.

sales potásicas. Sin embargo, por orden superior, se prolongó el sondeo hasta la profundidad de 800 m. sin salir en todos los metros perforados por bajo de los 600 metros del referido tramo priaboniense.

El borde de la cuenca potásica está, por tanto, comprendido entre Balsareny en donde se descubrió la potasa en condiciones explotables y Puigreig a donde no llega la sal. Así lo hemos indicado en el corte.

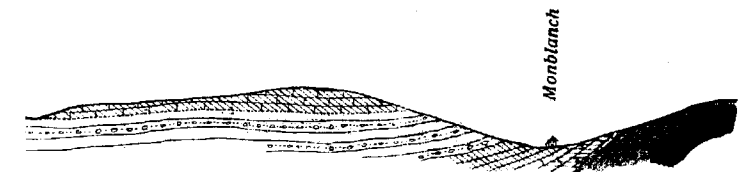
A un kilómetro y medio al N. de la estación de Olbán, se ve muy bien cómo cruzan el río los conglomerados y margas, formando un anticlinal cuyas ramas buzan unos 30°.

Los bancos, en el borde, se ponen casi verticales, y se apoyan sobre los bancos eocenos y cretáceos. Está el contacto próximamente por la Rectoría de Baells. Muy cerca y algo O. se presenta el afloramiento triásico de que ya hemos hecho mención en otro lugar. En Berga, en el Santuario de Queralt, se presenta el eoceno que contiene alveolinas y donde se ha reconocido el *Nummulites lucasanus* y *Assilina exponens*. En sitio próximo se ha hallado por Bataller el *Schizaster spado* (Lambert). Siguiendo el Llobregat, se vuelve a encontrar el triás después del cretáceo, presentándose luego en sinclinal el cretáceo lignífero de Berga, correspondiendo la base al senonense y la parte superior al garumnense. Se aprecia muy claramente en esta zona la intensidad de los movimientos tectónicos de Los Pirineos.

El cuarto corte lo trazamos desde Montblanch a Artesa, pasando por Tárrega. No se ha hecho aun ningún reconocimiento por sondeos en la zona occidental de la cuenca.

Al Sur de Montblanch se encuentra la sierra del litoral y se presentan en el centro las pizarras silurianas hojo-

TALUÑA



uede ser eocena,
ceno,

merados.Oligoceno

Escala { horizontal 1:200.000
vertical 1:100.000

Llt, Coullaut. Madrid

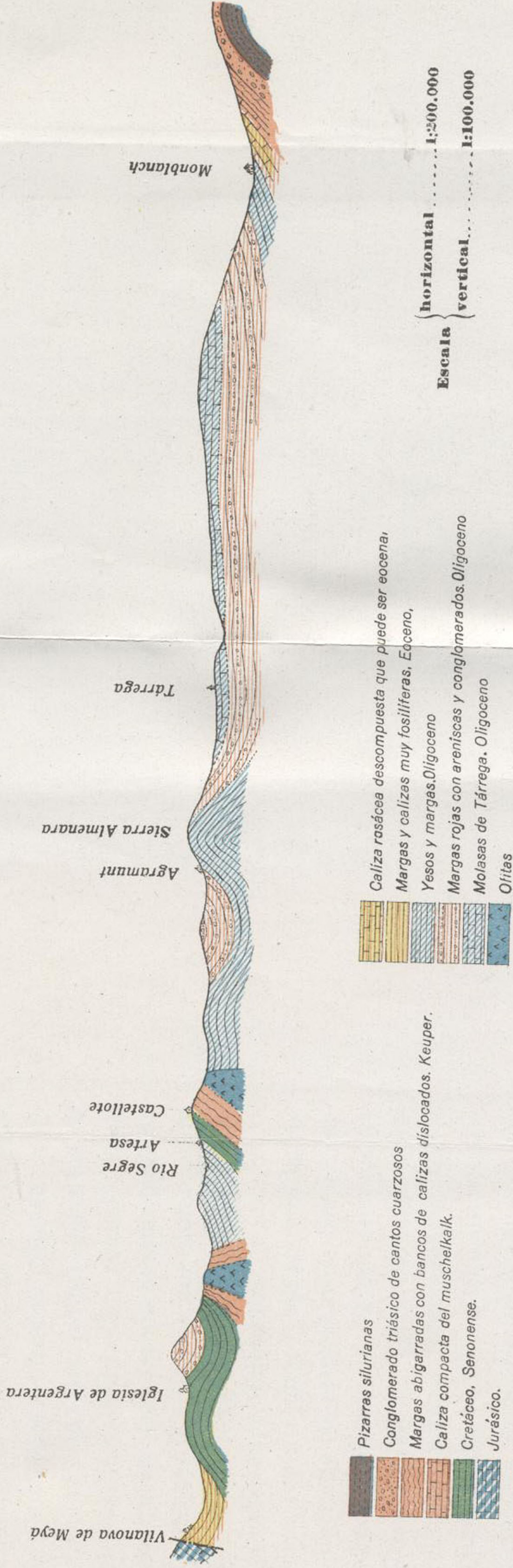
noea pyramidalis.

La sierra de Almenara coincide con un pliegue anticlinal, cuya mayor intensidad lo tiene en su parte occidental, y al que se le ve perder violencia a medida que se camina en dirección E. Aparecen en el centro del pliegue los yesos, y tiene su cúpula denudada, formando el terreno en el centro de la sierra, que coincide con el eje del antici-

SALES POTÁSICAS DE CATALUÑA



Corte núm. 4



sas. Sobre ellas se apoya el conglomerado triásico de cantos cuarzosos que forma un anticlinal que se ve muy bien en el terreno. Sobre este conglomerado se apoya el keuper formado en la base por margas rojizas y amarillentas y en la parte alta por calizas trastornadas y dislocadas variando mucho de unos sitios a otros su dirección e inclinación. Apoyándose en este tramo se presentan las calizas compactas del muschelkalk de color rosáceo. Encima de estas calizas se hallan otras descompuestas, también rosáceas, que Vidal atribuyó al eoceno, y, por último, sobre estas últimas calizas, en completa discordancia, se apoyan los yesos y conglomerados oligocenos.

Caminando al Norte, como a unos 6 kilómetros de Somovilla se ve el contacto de las margas rojas con el conglomerado. A 2 kilómetros al Sur de Veltall aparece ya el tramo de las molasas de Tárrega pero roto en pedazos apareciendo entre ellos las margas infrayacentes. En la parte alta de estas margas, que se encuentran alternantes con areniscas, se encuentra un banco fosilífero, con *Melanopsis*, *Limnæa*, *Planorbis*, etc.

En Tárrega se ven las molasas y areniscas con osamentas y capas carbonosas en lechos casi horizontales cuya fauna fué estudiada por Vidal y Deperet. Aparece entre los fósiles de esta fauna ya citada un molusco con gran abundancia que también se encuentra en Cervera y en todos los sitios donde se presenta este tramo y es la *Limnoea pyramidalis*.

La sierra de Almenara coincide con un pliegue anticlinal, cuya mayor intensidad lo tiene en su parte occidental, y al que se le ve perder violencia a medida que se camina en dirección E. Aparecen en el centro del pliegue los yesos, y tiene su cúpula denudada, formando el terreno en el centro de la sierra, que coincide con el eje del anticli-

SONDEOS DE LOS PIRINEOS.

El cuarto corte lo trazamos desde Montblanch a Artesa, pasando por Tárrega. No se ha hecho aun ningún reconocimiento por sondeos en la zona occidental de la cuenca.

Al Sur de Montblanch se encuentra la sierra del litoral y se presentan en el centro las pizarras silurianas hojo-

nal, un pequeño valle con pendientes muy suaves. Tiene el pliegue dirección ONO.-ESE.

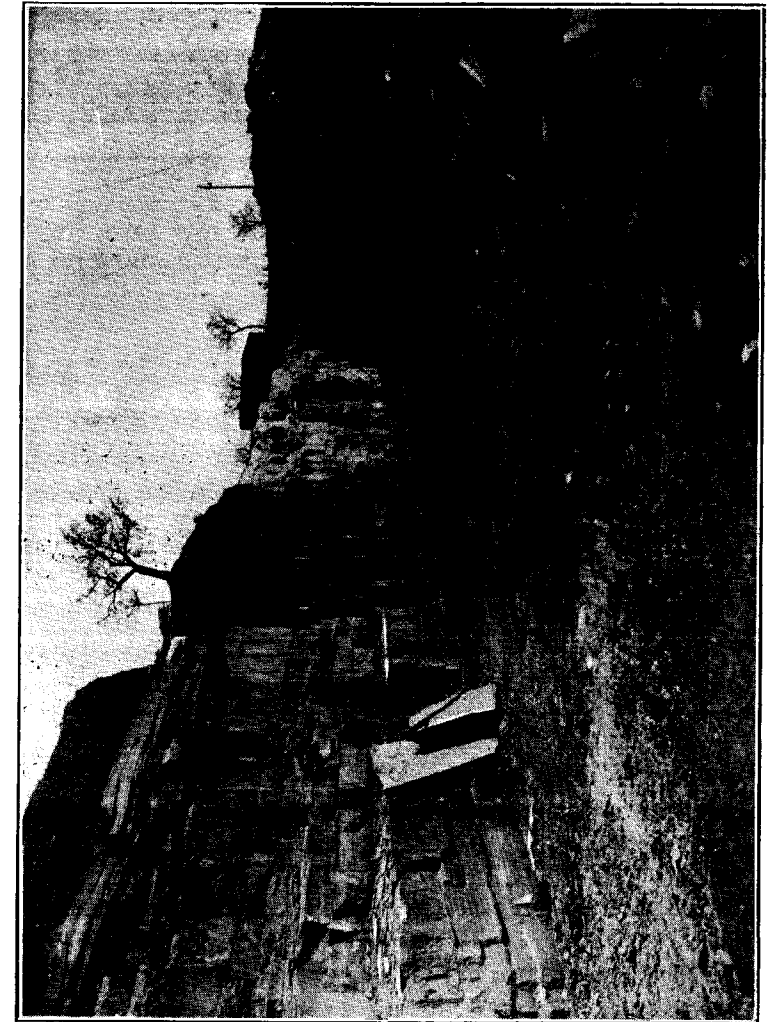
Pasado este anticlinal los lechos se ponen horizontales pero en seguida empiezan a buzarse al S., y a 6 kilómetros al N. de Mafet pasa el eje de un anticlinal muy violento, en cuyo centro aparecen los yesos, y más al Norte de este pliegue, cerca de Artesa, los bancos se inclinan al Sur, y junto al mismo pueblo pasa otro pliegue anticlinal, que ha traído como consecuencia la aparición del triás con ofitas y la del cretáceo con *Hippurites*. El Segre circula entre los bancos oligocenos que forman la rama Norte de este anticlinal.

Por el pueblo de Artesa pasa una falla, junto al cerro del Castellote, que pone en contacto los bancos secundarios que forman este cerro con los oligocenos. En esta falla, dirigida casi de N. a S., se elevó el labio oriental o descendió el occidental.

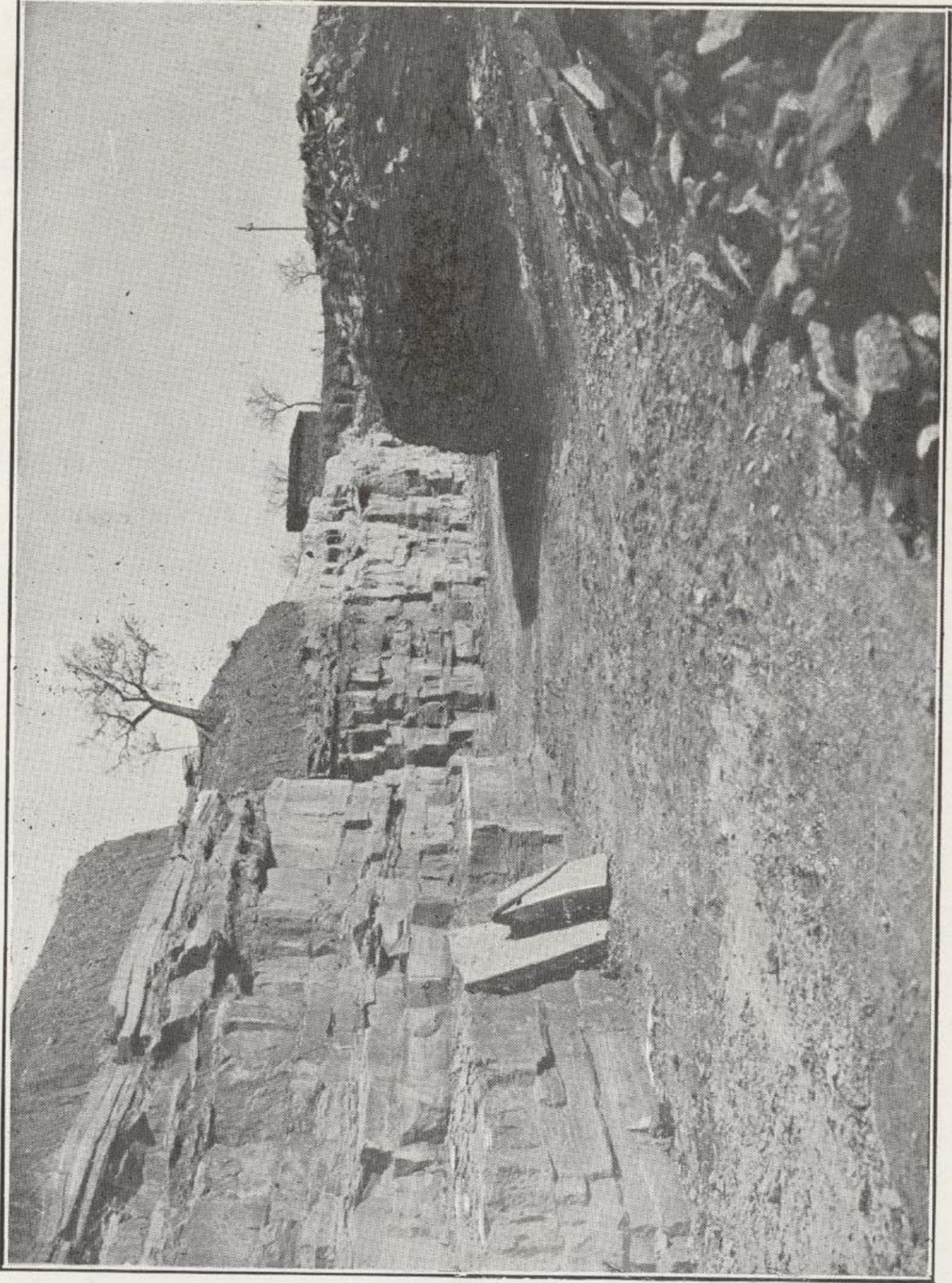
A medida que se camina al N., los bancos oligocenos se ponen casi horizontales, y como a unos 3 kilómetros al Norte de Bernet, se presentan los yesos del triás y un manchón de ofitas que llega hasta cerca de Baldomá. Al E. de este corte desaparece el triás, presentándose los bancos cretáceos.

Sobre el triás se apoya una faja cretácea de poco espesor buzando al N., y superpuestos a ella se presentan grandes bancos de conglomerado que dan al paisaje un aspecto abrupto. Aparecen al N. los bancos cretáceos otra vez junto a la iglesia de Argentera, hasta Alentorn donde aparecen bastantes *Hippurites*.

En Gársola se presenta el eoceno con muchos fósiles, entre ellos el *Velates Schmidelliana* que se prolonga hasta Vilanova de Meyá en donde queda interrumpido de repente por el jurásico que forma la base de la sierra del



Canteras fosilíferas de Tárrega



Canteras fosilíferas de Tárrega

Monsech a consecuencia de una gran falla que motiva la existencia de este gran accidente orográfico.

Además de los sondeos realizados en la línea de los cortes cuya explicación acabamos de hacer, se han realizado otros varios sondeos de interés, que vamos a enumerar.

En el anticlinal de Suria, entre este pueblo y el de Balsareny, se han realizado por la Sociedad Solvay, dos tala-dros muy interesantes: uno a 2,5 kilómetros y otro a 7,5 de Suria, junto a la carretera que une los dos citados pue-blos:

En el primero se cortaron los terrenos siguientes:

- 162 metros margas rojas abigarradas, con bancos de ca-liza.
- 270 — margas grises y rojas, con yesos y bancos de caliza
- 31 — sal gris, con margas, anhídrita y areniscas.
- 87 — margas abigarradas con calizas.
- 89 — margas grises, yesosas, con caliza e interca-laciones de sal.
- 147 — zona potásica, carnalita.
- 7 — zona potásica, silvinita.
- 247 — sal gris.
- 9 — zona potásica.
- 13 — yeso.
- 8 — calcita.

Total de la longitud del sondeo, 1.070 metros. Lo inte-resante de este sondeo es haber alcanzado, después de la sal gris o blanca, otra pequeña zona potásica.

En el segundo sondeo se cortaron los materiales siguien-tes:

314 metros margas rojas y grises.

- 43 — areniscas con yesos y calizas.
- 67 — calizas, con margas y algún banco de arenisca.
- 157 — margas rojas, con algún banco de caliza y arenisca.
- 204 — margas grises y rojas, saladas y yesosas.
- 22 — areniscas, con delgadas intercalaciones de margas.
- 19 — margas, con intercalaciones y capas de sal.
- 90 — zona potásica.
- 256 — sal gris.
- 4 — yeso y anhidrita.
- 9 — caliza.

1.185 metros en total.

En este sondeo se cortó a unos 100 metros de la superficie una capa de lignito de 0,50 de espesor.

En casa Torres, al O. del Cardoner y al S. del anticlinal de Suria y de la falla del Tordell, se ejecutó por la Sociedad Solvay otro sondeo, atravesando los terrenos siguientes:

379 metros margas y calizas.

- 41 — margas rojas, con algún banco de caliza.
- 75 — margas rojas y grises, saladas y con yesos.
- 46 — margas con bancos e intercalaciones de sal.
- 136 — zona potásica.
- 266 — sal gris.
- 7 — yeso y anhidrita.

El sondeo alcanzó la profundidad de 950 metros.

La Sociedad Fodina realizó en Semís, en la rama N. de los dos anticlinales de Suria, pues en esta zona el pliegue

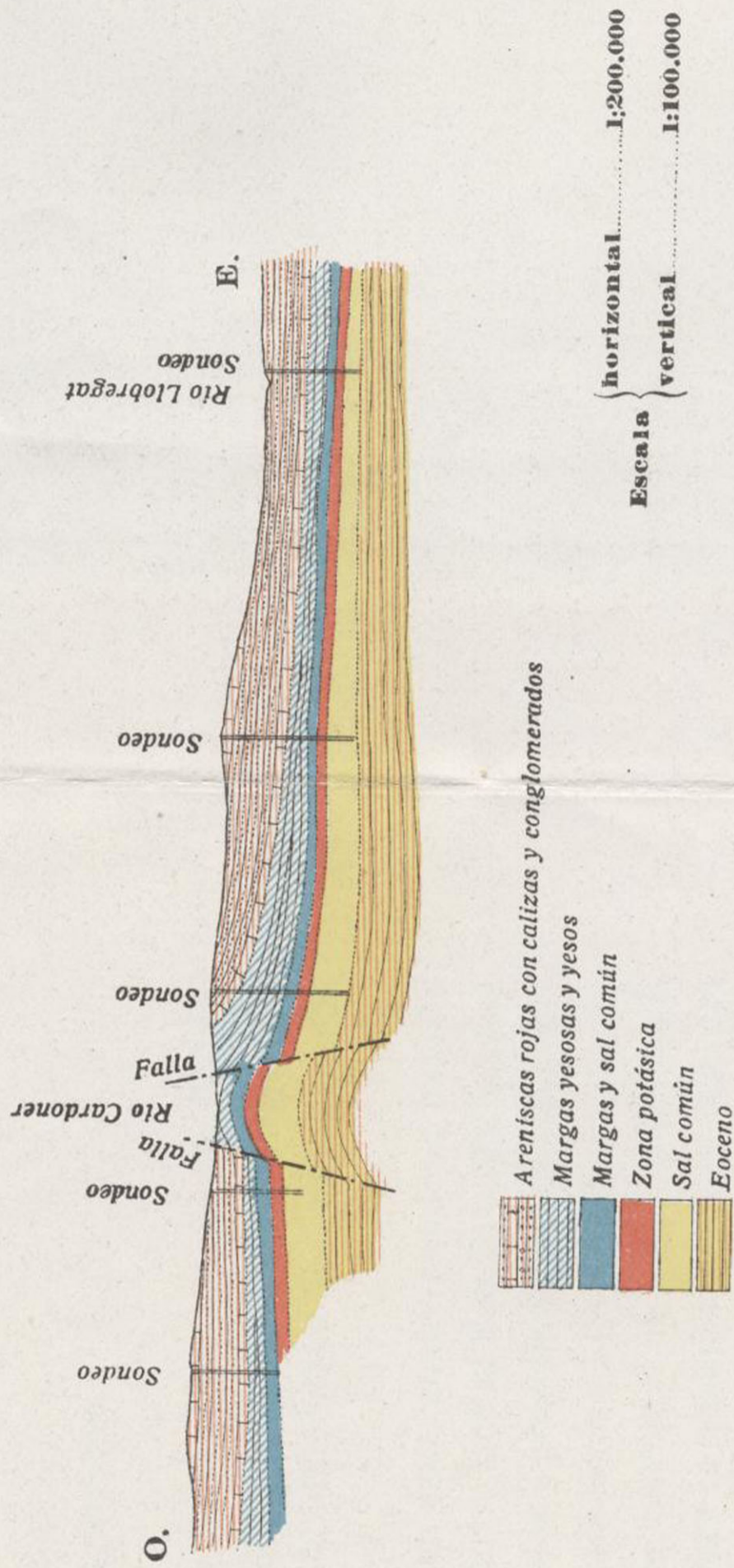
por dicho eje, teniendo en cuenta la potencia de las inclinaciones de los estratos.

El sondeo de Semís no debió llegar a la zona potásica; se abandonó cuando entraba en la zona salina que sirve de pendiente a aquélla.



SALES POTÁSICAS DE CATALUÑA

Corte núm. 5



principal está dividido en dos, un sondeo que cortó los terrenos siguientes:

285 metros arenisca de varios colores, con margas.

61 — margas sabulosas, rojizas en general.

216 — arenisca gris.

74 — margas abigarradas.

16 — anhidrita y margas.

0,70— carnalita.

31,30— sal común en margas, anhidrita y arcilla en pequeñas capas.

43 — margas abigarradas.

En este sondeo es muy posible que no se haya llegado a la zona potásica, la cual no debió quedar muy lejos del fondo del sondeo. La profundidad total del sondeo fueron 727 metros.

El resultado obtenido en estos cuatro sondeos, unido a los del ya descrito realizado por el Estado en Balsareny y a los datos de los sondeos y pozo de Suria, nos han servido para trazar el perfil transversal (corte número 5), siguiendo el eje del pliegue anticlinal de Suria. Únicamente en la parte del río Cardoner lo hemos trazado al Sur del pliegue, en la zona fallosa, para hacer resaltar la forma de cúpula que allí toma el criadero.

Al representarlo, hemos considerado la distancia que separaba en muchos de ellos el sondeo del eje del pliegue, y lo hemos transportado teóricamente al plano, pasando por dicho eje, teniendo en cuenta la referida distancia y las inclinaciones de los estratos.

El sondeo de Semís no debió llegar a la zona potásica; se abandonó cuando entraba en la zona salina que sirve de pendiente a aquella.

7000 y anhidrita.

El sondeo alcanzó la profundidad de 950 metros.

La Sociedad Fodina realizó en Semís, en la rama N. de los dos anticlinales de Suria, pues en esta zona el pliegue

Dos sondeos más se hicieron al O. del de Semís, en el anticlinal de Suria, pero no los hemos representado en el plano, por presentar ambos un corte tan diferente de los en él trazados, que su relación estratigráfica no está del todo clara.

Uno de estos sondeos es el ejecutado por el Estado en Castellfullit, ya descripto, y el otro es el llamado de Segué o Boixadors, realizado por la Sociedad Fodina en la rama S. del doble anticlinal de Suria. Los terrenos atravesados han sido en este sondeo los siguientes:

- 122 metros areniscas y margas.
- 34 — yesos, anhidrita y margas.
- 250 — sal con anhidrita, arcillas y yeso.
- 281 — margas grises y azuladas, con yeso y anhidrita.
- 170 — sal, anhidrita y margas.

La profundidad total fué de 857 metros.

Ya hemos dicho que en el sondeo de Castellfullit se cortó el yacimiento en un pliegue, habiéndose cortado dos veces la zona potásica y las margas con sal y anhidrita, en capas delgadas, que le sirven de pendiente. Este pliegue debe presentar la convexitud hasta el N. del modo representado en el corte número 2. La sal blanca del yacente del criadero potásico fué tocada en el sondeo.

Un pliegue parecido debió cortarse en el sondeo de Segué, mostrándose una vez más en él la mayor plasticidad de la sal con relación a los terrenos que la recubren. En este sondeo sólo se repitió en el pliegue el banco de los yesos, tocándose en el centro el tramo de las margas con sal del pendiente del yacimiento potásico, y por tanto, si existe potasa, se debió dejar a un lado; al S. según nues-

tro modo de pensar. Después de atravesadas las dos ramas de yesos, se volvió a cortar el tramo salino, en la forma indicada en la figura número 14, suspendiéndose el sondeo sin acabar de atravesarlo. La existencia de este pliegue en la parte occidental del anticlinal de Suria, puede explicar la gran profundidad a que debe hallarse la potasa en la parte occidental del anticlinal de Cardona.

Un sondeo al S. del anticlinal de Suria y otro en la rama S. del anticlinal de Cardona, aclararían el problema, y se vería si tenían algo de fundamento las aventuradas hipótesis que acabamos de exponer.

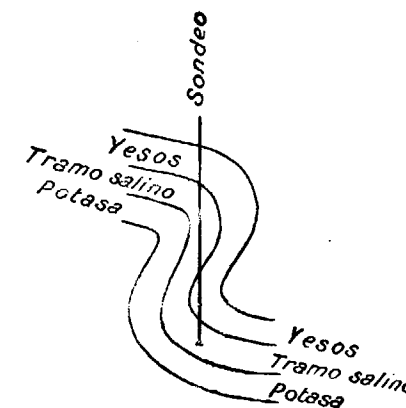


Fig. 14

En Suria, en la rama S. del anticlinal, se ha realizado otro sondeo al E. del Cardoner, y como a un kilómetro del río. Se cortaron los materiales siguientes:

- 200 metros calizas y margas rojas y grises.
- 24 — margas yesosas, con bancos de caliza.
- 115 — margas con algunos bancos de caliza.
- 40 — margas, con capas e intercalaciones de sal y algo de anhidrita.
- 68 — zona potásica.
- 54 — sal gris.
- 47 — zona potásica
- 102 — margas, con intercalaciones de sal y anhidrita.

6 metros margas calizas.

En este sondeo, que tuvo una profundidad total de 656 metros, se cortó el manto potásico en un pliegue, como lo indica claramente la repetición en el corte del yacimiento potásico, apareciendo entre las zonas potásicas la sal blanca inferior. También se repitieron el tramo de las margas salinas y el de las margas calizas. Es un fenómeno parecido al que acabamos de describir al hablar de los sondeos de Castellfullit y Boixadors.

En el anticlinal de Cardona no se ha realizado otro sondeo, a más del de Torá, ya descripto, que el de Llardella, situado a unos 8 kilómetros al Oeste de Cardona. Fué realizado por el Estado, y se hizo en poco más de un año, alcanzando la profundidad de 1.634 metros.

Los terrenos atravesados fueron los siguientes:

- 1.200 metros margas rojas, con areniscas y algún banco de margas muy calizas.
- 110 — margas, con intercalaciones y nódulos de sal y yesos.
- 121 — sal común joven, con margas y anhidritas.
- 83 — margas, sal y anhidrita en capas muy delgadas.
- 73 — zona potásica, carnalita.
- 7 — idem, id., silvinita.
- 40 — sal blanca.

En este sondeo, los estratos se cortaron con inclinaciones de 40 a 70° en los primeros 200 metros, y con inclinaciones de 10° en todo lo demás. El plano-eje del accidente que ocasionó la inclinación de los estratos más altos

es oblicuo con relación a la vertical, y por ello, los bancos por bajo de los 200 metros, no están afectados. El sondeo se hizo en la coincidencia de la falla con el eje anticlinal, cuyos accidentes ya hemos descripto, y por ello debió haber un hundimiento, que trajo como consecuencia la existencia de más terrenos muertos en el labio hundido de la falla que en el otro.

Accidentes geológicos

La cuenca, como se ha podido apreciar por los cortes, se levanta en los bordes, apoyándose sobre terrenos más antiguos, pero se encuentra toda ella arrugada, con la particularidad de que se observan muchas diferencias en la forma de presentarse los pliegues. Como el empuje es promovido por la aproximación de los bordes N. y S. de la cuenca, las arrugas, los anticlinales, tienen en general, dirección E.-O. aproximada, pero estas arrugas no tienen la misma violencia en toda su longitud. Hay sitios en las mismas en que apenas son percibidas en el terreno, en que forman una suave ondulación, y en otros sitios, por el contrario, y a veces en un solo punto, presentan una violencia extremada.

Los ejes de los anticlinales están afectados a su vez por otras ondulaciones normales a la principal, teniendo esta circunstancia importancia industrial, porque por ella no se corta la sal a la misma profundidad en todos los sitios situados en el eje de un mismo pliegue.

La gran plasticidad de la sal se ha puesto también de manifiesto con los sondeos realizados: se ven, por ejemplo, pliegues en los sondeos de Boixadors, en el de Castellfullit en el de Suria, al SE. del pozo maestro, que no se

perciben en los bancos superiores de otra índole petrográfica. Fenómeno que se puede observar a simple vista en las salinas de Cardona.

Esta plasticidad de la sal semejante a la de un fluido es causa también de que en los ejes de los anticlinales principalmente cuando la sal está próxima a la superficie, existe una zona sumamente trastornada que imposibilita determinar de un modo exacto por donde pasa la línea matemática, eje del pliegue. En algunos sitios, esta región alterada en que las direcciones e inclinaciones de los estratos varían a cada paso, presenta anchuras muy grandes. En el Llobregós la anchura pasa del kilómetro. En Mollosa estará cerca de esta longitud y en Cardona pueblo, pasa de 500 metros, y en sitios próximos más. También imposibilita marcar con exactitud los ejes anticlinales en los planos los errores topográficos. Por último muchas veces también impide hacerlo la erosión y los depósitos a esta acción debidos que nos veda ver en el terreno la dirección y buzamiento de los bancos. Hemos procurado, sin embargo, trazarlos con la aproximación suficiente para que puedan servir de guía a los estudios que en la cuenca se puedan realizar en lo sucesivo.

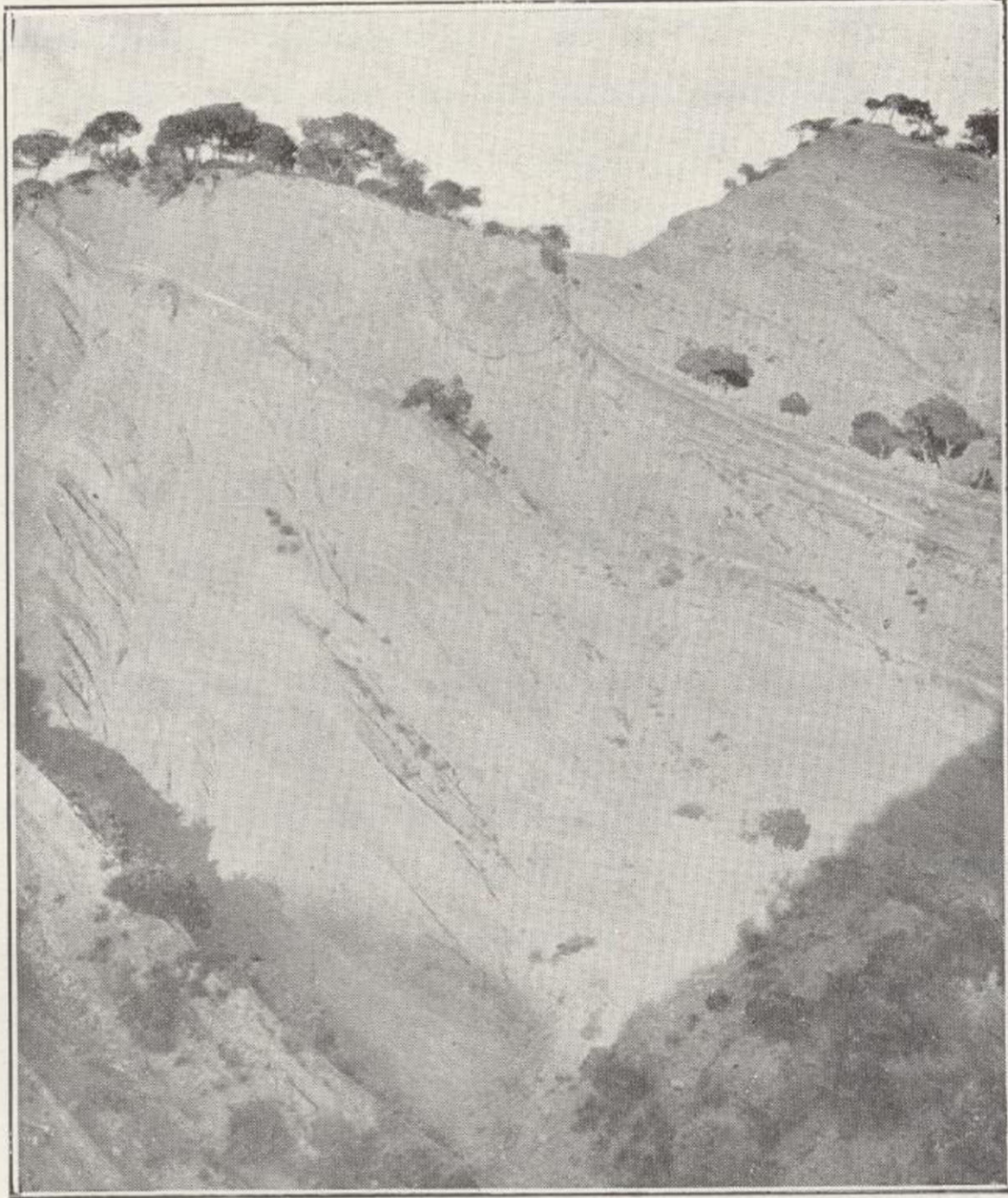
Además de los pliegues se presentan fallas, algunas en relación directa con aquéllos. Su presencia ha tenido consecuencias de gran importancia industrial. Una de ellas la del Tordell, en Suria, hizo aflorar la sal y en Cardona, Oló, Vilanova la Aguda, etc. las fallas también influyeron en que se observen en la superficie manifestaciones salinas.

Es indudable que, siendo los bancos de Monserrat oligocenos, el primer pliegue, cortando la cuenca de S. a N., sería el que trajo como consecuencia el asomo eoceno de Manresa, que la dividió en dos retazos: uno, pequeño, al



Anticlinal de Santa María de Oló. Margas rojas y grises con yesos de la rama S.





Anticlinal de Santa María de Oló. Margas rojas y grises con yesos de la rama S.



S., formado por los conglomerados de Monserrat; y otro al N., que es el que constituye la zona potásica que nos ocupa. Parece confirmar esta opinión de rotura de la cuenca, el que presentándose en los límites N. y S. de ella, los conglomerados de cantos grandes aparecen sólo en la zona S. en Monserrat, o sea en su verdadero borde, y no se encuentran en Callús, ni en Sallent, ni al N. de Manresa, que forman el borde meridional del gran retazo del N., objeto de nuestro estudio.

El pliegue más al S., dentro de la cuenca salina, es el que se presenta en Callús, allí formando una suave ondulación; pero a medida que se sigue a Levante, la arruga se acentúa más. Pasa a unos 800 metros al N. de Sampedor. Al S. de Sallent, pasa próximamente por la unión de la carretera que va de Manresa a Berga, con la que va de Sallent a Plá de Llusanés. En toda esta zona, la rama S., en su mayor parte, está desnuda. Pasa el eje a unos 500 metros al N. del pueblo de Horta, y luego sigue aproximadamente el torrente de Oló; aquí manifestándose con una gran violencia y viéndose junto a las casas de Vilaseca y Alarbasas los bancos con distintos buzamientos en las dos márgenes del torrente. Pasa el eje al N. de San Juan de Oló, y casi por el mismo pueblo de Santa María de Oló, en donde parece presenta el pliegue el máximo de su intensidad; sigue al E., pasando el eje cerca y al S. de Pordolls y como a unos 300 metros al S. de las casas de Manso Grasetas y Manso Sole y por el castillo de Estany, donde se difuma.

En Santa María de Oló, el pliegue presenta la forma indicada en la figura 15. Parece significar que existe una falla de una gran longitud, siguiendo el torrente, apareciendo el labio N. casi horizontal, y por el contrario, el labio S. completamente plegado; parece esto explicarse por-

que la rama N. no ha sido movida, pues sus estratos se siguen al N. en grandes extensiones, sin sufrir accidente geológico alguno, y que la rama S. ha sido levantada en un salto próximamente de unos 200 metros, dando lugar a la aparición del tramo de los yesos con margas algo saladas. Este fenómeno de levantamiento de unos terrenos

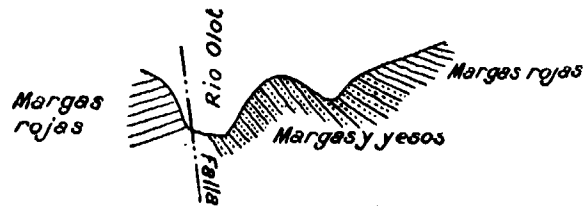


Fig. 15

con relación a los contiguos, nos parece se repite en otros sitios de la cuenca, como en Suria y Cardona, aunque bien nos damos cuenta que no es la forma generalmente admitida para esta clase de accidentes, que se explican, por lo común, por hundimientos.

Se ha analizado (1) el agua del arroyo que circula siguiendo el accidente geológico de Santa María de Oló, habiendo dado el resultado siguiente:

Residuo fijo por litro: 30,81 gramos, de los cuales corresponden a los cuerpos que se expresan las cantidades siguientes:

Cloruro sódico..... 25,689 gramos.

Cloruro potásico..... 0,274 —

(1) Los análisis que se citan en este trabajo, sin expresar su autor, han sido realizados en el Laboratorio del Instituto Geológico por el Ingeniero Sr. Menéndez Puget.

Sulfato magnésico..... 0,384 gramos

Sulfato cálcico..... 3,722 —

O sea muy rica en sal común y yeso, y pobre en potasa.

El anticlinal al O. de Callús pasa como a unos 800 metros al N. de la casa de Andreu, donde la rama N. tiene una inclinación de 12 a 15°, y la rama S. es casi horizontal. Pasa después, aun menos marcado, por el molino de Carner, y en el arroyo que pasa por este molino y por Fonellosa, se pierde en una suave ondulación.

Al Norte del anticlinal de Callús, se encuentra el de Suria, de gran interés industrial, porque sobre él se han realizado los trabajos de investigación y explotación más importantes en busca de sales potásicas.

El anticlinal pasa al Norte e inmediato al pueblo de Suria como ya hemos indicado. Al Oeste, pasa al Sur de las casas de Ribera y Serra y en el sitio denominado Salipota los estratos están sumamente alterados y muestran la presencia de dos pliegues; una, la más al Norte, corresponde con el anticlinal que estamos considerando, y la más al Sur parece prolongación de la importantísima falla del Tordell de que ya hemos hablado. Los dos pliegues, con separaciones de 300 a 500 metros, pasan al Sur del sondeo de El Semis. La casa de Puig Gros está entre los dos. Ambos anticlinales pasan al Norte y muy próximos de Castelltallat y del sondeo de Boixadors. Siguen los dos muy próximos y confundidos en uno, con la cúpula muy ancha por el curso del río Llobregós, dejando al Norte Mollosa y Anfesta y al Sur casa del Marqués y Castellfullit, y con una dirección NE. sigue el eje todo el curso del Llobregós hasta Pons. Presenta en este trayecto la cúpula anchísima y toda formada de yesos que se presentan en grandes masas. Existen cristales incompletamente alterados en sulfato de cal.

Este accidente en la zona del Llobregós divide la cuenca en dos partes: la oriental, que es la hasta ahora investigada, y la occidental, que está sin reconocer. Los accidentes de esta última hemos intentado relacionarlos con los de la parte oriental, sin que estemos completamente seguros de haberlo realizado bien.

El anticlinal, al Este de Suria, pasa al Norte del sondeo número 11 realizado por el Sindicato Franco-Belga y al Norte de los primeros kilómetros de la carretera de Suria a Balsareny. La casa de Saladrigas de Argensola está un poco al Sur del eje. Pasa éste por las casas de Masenés y Guimerá y cruza la carretera por el kilómetro 9, dejando al Norte la capilla de Santa Margarita y la casa de Puig de Villa de Post. Sigue el eje al Norte de las casas de Puig y Ventosa y La Selva, cruza otra vez la carretera por el kilómetro 11, pasa por las casas de Cortés y Subirana, atraviesa la carretera de Manresa a Berga en las inmediaciones de la casa de Cansalada, cruza el río Llobregat junto a la fábrica de San Esteban y pasa junto a las casas de Torres, Sardá, El Mas y Nova. Sigue por la Abeyá de Abás, y allí el pliegue se convierte en ligera ondulación, muy difícil de fijar en el terreno.

El anticlinal de Cardona es el inmediato y al N. del de Suria; también presenta una zona muy dislocada en las mismas salinas de Cardona. Al O. de ésta presenta las ramas muy abiertas. Pasa próximo a las casas de Muchal y de Guix, al S. de la casa de Llardella, y al S. también de la casa del Vironés, de la provincia de Barcelona, y de Yop, de la de Lérida. Sigue el eje dejando al S. *Matamargot*, situado sobre el tramo de las margas rojas. A unos 100 metros al Noroeste del molino de Torres Quesana se ve bien manifiesto el anticlinal en el tramo rojo, presentando una pequeña falla en su eje y siendo abundantes en aquel

paraje las eflorescencias salinas. El pueblo de Bergús queda en la rama Norte del anticlinal. Sigue después el anticlinal por Pinós y Sellés, formando sus dos ramas las dos laderas de un arroyo que pasa cerca del primero de dichos pueblos, y se une, al parecer, en Torá con el anticlinal del Llobregós. Por bajo del santuario de Pinós se aprecian manifestaciones salinas.

Al Sur del anticlinal existe una falla importantísima, que ya hemos citado, que produce en el terreno, conjuntamente con el anticlinal, dislocaciones importantes.

El anticlinal de Cardona al Este de las Salinas se le ve muy bien en la casa de Pinell, sobre el río Cardoner. Allí el eje del anticlinal parece buzar al Este, observándose que en la sierrecilla situada cerca y según este rumbo de la referida casa, el pliegue se convierte en una suave ondulación.

El eje del anticlinal pasa cerca y al Sur de la Capilla de Santa María de Serrateix, y por la casa de San Just y al Norte de Castelladrall y con dirección Este 20° Norte, pasa al Norte de Puigregit teniendo aquí sus ramas muy poca inclinación. Por último, pasa por Bonaire y Sayás, observándosele en la carretera de Gironella a Prat de Llusanés.

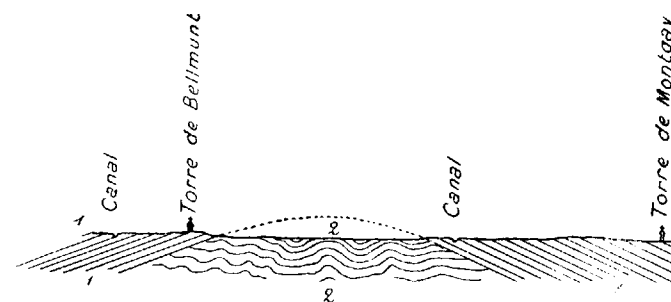


Fig. 16

1. Margas y areniscas alteradas.—2. Yesos.

Prolongación del anticlinal de Cardona, al O. del Llobregós, parece ser el que pasa por el eje de la Sierra de Almenara. Difícilmente visible entre el referido río y Guisona, ya en Ossó se manifiesta claramente y con gran violencia en toda la citada Sierra. Entre Bellmunt y Mongay la cúpula del mismo tiene más de 2 kilómetros de ancho y se presenta en la forma indicada en la figura. Pasa el eje del pliegue al Sur de Asentiú y al Norte de Balaguer, internándose en Aragón.

Sigue a este anticlinal al N. el de Vilanova la Aguda. Se presenta muy claro, y con las ramas casi verticales, en el valle de este pueblo, que afluye al del Llobregós. Pasa el eje por el referido pueblo, por sitio muy próximo a la salina denominada María, y por la capilla de Santas Creux, perdiéndose al E. de este Santuario en una suave ondulación. Al otro lado del Llobregós se le ve muy claro, cruzando la carretera de Agramunt a Artesa, como a 6 kilómetros al N. de Mafet, pasa al S. de Tudela y Ceró, al N. de Monclá por el pueblo de Cubells y cruza el Segre como a unos 6 kilómetros al N. de Balaguer.

Al N. del anticlinal de Vilanova la Aguda, se presenta aquél cuyo eje pasa al N. de Pons y por Artesa, donde asoman los terrenos secundarios. El anticlinal en el oligoceno, se pierde antes de llegar a Foradada y Monsonis, pero sigue en los terrenos secundarios, observándose en la dirección de su eje los isleos triásicos y de ofitas de Rubió, del N. de Cubells y de Camarasa.

Al Norte de este último anticlinal se observa el que pasa por Tiurasa y que consiste en una suave ondulación. El anticlinal que se observa a 5 kilómetros de Olius, debe ser prolongación al E. del que acabamos de describir, y debe ser también el que pasa como a unos 2 kilómetros al N. de la estación de Olbán.

Al N. del pliegue de Tiurana se presenta el de Oliana con aparición de los estratos liásicos y eocenos; sigue al E., y debe ser el mismo que se presenta en forma de pliegue isoclinal en San Lorenzo de Morunys, que sigue hasta la sierra cretácea de Berga.

En la prolongación al O. del pliegue de Oliana se presenta también el manchón secundario de Monmagastre, y pasa el eje del anticlinal a unos 500 metros al S. de Montargull, atravesando la carretera de Artesa a Tremp. Este pliegue parece también tener su prolongación en los terrenos secundarios que limitan por esta zona al O. la cuenca oligocena. Así, en efecto, se encuentran en la alineación del eje del anticlinal la mancha triásica y las ofitas de Baldomá.

En todos los sitios donde ha asomado el eoceno rompiendo la continuidad de los bancos oligocenos, no se ven entre éstos los depósitos yesosos que alguna vez aparecen en otras cuencas como restos de metamorfismo de los yacimientos salinos. La comprobación de la existencia o no de este fenómeno es casi imposible de hacerla en el contacto del oligoceno con las manchas triásicas.

De la observación del plano, se aprecia que los pliegues, en general, tienen una dirección E.-O. Como ya hemos dicho, es originada por un empuje N.-S. de aproximación entre la cordillera pirenaica y la del litoral. Este movimiento, que tuvo lugar al principio del mioceno, probablemente en el burdigaliense o tortoniense, tuvo gran importancia en la formación del relieve actual de Cataluña, porque se formó la sierra del Cadi y otras, levantando el eoceno a más de 2.000 metros sobre el nivel del mar. Se cambió también el régimen hidrográfico en Cataluña, corriendo los ríos en el sentido que hoy lo hacen, y no en sentido contrario, como antes lo hacían.

Los anticlinales no forman una línea recta, sino que, en general, forman una curva con su convexidad al N. Si se examina el mapa general, se observa que en la parte central los ejes de los pliegues están más distanciados que en los bordes oriental y occidental, estando en relación estos hechos con la mayor o menor aproximación de los terrenos más antiguos que limitan la cuenca oligocena por el N. y por el S., es decir, que las mandíbulas que arrugaron la cuenca se hallaban más próximas en los referidos bordes, y, por consiguiente, los pliegues se aproximaron.

Síntesis geológica de la cuenca

De todos los datos anteriormente expuestos, se deduce que la cuenca presenta, de unos sitios a otros, en la sucesión de los estratos, en la naturaleza de ellos y en su potencia, diferencias muy grandes que hacen muy difícil relacionarlos entre sí para determinar bien los horizontes que la integran. Haremos, sin embargo, un intento de ello.

La formación oligocena por lo que ya tenemos manifestado se debe apoyar en la mayor parte de su extensión en el eoceno. Induce a creerlo el examen de los bordes de la cuenca, los asomos de este terreno hallados en los ejes de los pliegues anticlinales y los materiales obtenidos en los sondeos debajo de los estratos del oligoceno.

Es cierto que aunque en general aparezca en los bordes el eoceno, en algunos sitios se presentan los terrenos secundarios en contacto directo con el oligoceno, como en la zona de Artesa y Camarasa y tal vez en Montblanch, pero en este caso creemos que este contacto se debe a ser transgresivo el oligoceno con relación al eoceno, siendo

la zona de contacto de aquél con los secundarios de pequeña extensión.

Los asomos de Oliana y San Lorenzo de Morunys en que el eoceno rompe la continuidad de los estratos oligocenos, precisamente cerca del borde en el que se apoyan éstos sobre los estratos secundarios, abonan aun más la opinión que acabamos de manifestar respecto a que son zonas de pequeña extensión aquéllas en que el substratum de la cuenca no está constituido por el eoceno.

Los sondeos realizados en Suria y Puigreig han puesto también de manifiesto de un modo bien claro el terreno infrayacente de la cuenca.

Es cierto que al Oeste del Segre en la parte Norte de la cuenca se ven algunos asomos de terrenos secundarios de poca extensión pero éstos son debidos a accidentes geológicos que han surgido rasgando, no sólo los depósitos oligocenos, sino también los eocenos. La presencia de los estratos de este último terreno en Berga, Gársola, Vilanova de Meyá y Santa María de Meyá parecen demostrarlo. Además es preciso tener en cuenta que entre la formación de los depósitos eocenos y la de los oligocenos, el suelo catalán fué fuertemente conmovido, lo que trajo como consecuencia que, antes de sobrevenir la época oligocena, accidentes importantes pudieron producir la desaparición de algunos retazos eocenos.

No parece que sea sobre el mismo tramo del eoceno en el que se apoya la cuenca oligocena en toda su extensión. En el sondeo de Puigreig está fuera de dudas que es el priaboniense. A este mismo tramo corresponden los del mismo pueblo de Manresa y una parte de los de Vich en contacto directo con el oligoceno, pero en cambio en los asomos de San Lorenzo de Morunys aparece el luteciense; a este tramo corresponde el manchón de Gársola, el que

constituye el fondo de los taladros de Suria según se deduce del examen de los materiales y gran parte de los terrenos que forman el contacto al Sur de la cuenca.

Por las mismas razones técnicas señaladas antes se puede explicar muy bien esta diversidad de tramos. Las faltas del priaboniense pueden ser debidas a que nunca existió este terreno o a que fué derrubiado antes de la formación del oligoceno.

A pesar de tener extensión limitada no deja de tener interés el hecho de que el triás con su cortejo de ofitas, yesos y sal se presenta muchas veces en contacto con el oligoceno. Creemos que tiene importancia para la génesis del yacimiento salino como luego trataremos de demostrar.

En la cuenca que nos ocupa hemos podido observar los horizontes siguientes de abajo para arriba:

EOCENO:

- Luteciense* 1.—Margas.
Priaboniense 2.—Macifios, calizas y margas con *Nummulites*, *Operculina ammonica*, *Actinocyclina pinguis* (Douvillé), etc.

OLIGOCENO:

- Sannoisiense* 3.—Banco de anhídrita y yeso; 2 a 10 metros.
 — 4.—Zona potásica inferior (casi siempre falta) 2 a 8 metros.
 — 5.—Sal blanca o gris, en general muy pura, término medio, 200 a 300 metros.
 — 6.—Zona potásica superior; espesor medio, de 60 a 70 metros.
 — 7.—Margas, sal común y anhídrita en lechos muy delgados; espesor medio, 40 a 50 metros.

- Sannoisiense* 8.—Margas grises y rojas, yesosas y saladas, a veces con bancos de arenisca, caliza y yesos, de espesor muy variable; medio de 100 a 200 metros.
 — 9.—Margas rojas predominantes, margas grises, calizas, conglomerados y areniscas, hasta 1.000 metros.
 — 10.—Yesos superiores con margas y areniscas y algún banco de lignito, 100 metros.
 — 11.—Margas grises y rojas, con calizas fosilíferas y lignitos de Calaf con muchos *Planorbis*; 200 a 300 metros.
 — 12.—Calizas y molasas con osamentas de *Tárrrega* y *Limnæa pyramidalis* y *longiscata*, 100 metros.
Estampiense (?) 13.—Margas blancas y amarillentas con molasas, 60 a 80 metros.

MIOCENO:

- Tortoniense* 14.—Areniscas pardo-amarillentas con arcillas rojas y margas.

Los horizontes 3, 4, 5, 6 y 7 corresponden al tramo salino, y de sus circunstancias y propiedades nos ocuparemos a continuación.

Las margas salinas que forman el pendiente del criadero, van perdiendo la sal a medida que los bancos están más altos. Predomina en ellas el color gris, pero a veces es muy azulado, habiéndose encontrado algunas margas de este color muy impregnadas de hidrocarburos. Las areniscas que se presentan algunas veces en la parte alta de este tramo son muy duras.

El horizonte de los yesos presenta un espesor muy variable. En algunos sondeos apenas se ha percibido, y en

cambio en otros, como en los de la zona occidental, tiene una potencia muy grande.

El tramo de las margas rojas con otras grises y calizas, conglomerados, arcillas y areniscas, es muy variable en su constitución, en la naturaleza de sus materiales y en su potencia. En los bordes se presentan los conglomerados con margas, y lateralmente se van convirtiendo los primeros en areniscas y calizas, substitución que repetidamente hemos comprobado, haciéndose gradualmente el paso de unas rocas a otras.

En la parte occidental y septentrional de la cuenca predominan, después de las margas, las areniscas. En cambio, en la parte oriental y meridional son más frecuentes las calizas. Sin duda, en la región del SE., las aguas estuvieron más tranquilas y reposadas, y los materiales son más finos. La precipitación predomina sobre la aportación, y así las margas son también más calizas, y con frecuencia en las grises, que alternan con las rojas, se observan muchos restos fósiles. Por el contrario, en el NO. de la cuenca estudiada, los materiales son más toscos, las margas son algo sabulosas, hay muchas areniscas de grano grueso y no se encuentran fósiles.

No se ha podido aún encontrar un tramo fosilífero que pudiéndole reconocer en toda la extensión de la cuenca sirviera para determinar en el terreno el nivel estratigráfico de cualquier punto. Los fósiles se presentan en muy distintos bancos, en muy distintos horizontes, y la semejanza de unos fósiles con otros es tan grande, que se hace imposible distinguirlos. El gran banco de *Melanoides* que hemos hallado al NE. de Sallent, no lo hemos podido encontrar con las mismas facies en ningún otro lado. Se ven varios bancos a distintos niveles con *Melanoides albigenensis*. Por todo ello, se hace imposible, por razones paleon-



tológicas, hacer una separación de horizontes en este importante tramo. El citado fósil ha sido hallado también en los tramos superiores.

Los Srs. Vidal y Deperet establecen un nivel estratigráfico de calizas tabulares con *cyrenas*, fundándose en el hallazgo de este fósil, no bien determinado, en el torrente de Ars, al N. de Calaf. Nosotros hemos tratado de reconocer este horizonte en el terreno y en los sondeos, pero hasta ahora nuestras investigaciones han sido infructuosas.

Ya hemos indicado en otro lugar que en la parte alta del anterior tramo se encuentran en algunos sitios yesos, circunstancia que conviene hacer resaltar, porque pudieran confundirse con los inmediatamente superpuestos a la sal. Los de este horizonte son fibrosos, muchas veces blancos y generalmente en vetas pequeñas.

Los horizontes 10 y 11 no están bien determinados pues frecuentemente en el tramo lignífero hemos hallado con abundancia bancos de yesos. El tramo de los lignitos de Calaf está erosionado en una gran parte de la cuenca pero se presenta en otros muchos sitios: encima de Sampedor, en los cerros altos del sinclinal comprendidos entre los anticlinales de Suria y Cardona, en Pobla de Segur, donde se explotan los lignitos y en la cuenca de Mequinenza. Abundan mucho en este tramo los *Planorbis* y entre ellos el *Cornu*. Quedó bien determinado por la fauna descubierta por Bofill, Vidal y Deperet.

Si se camina de Calaf a Tárrega se ve que a las margas ligníferas se les superponen las molasas tableadas de Tárrega y Cervera; el contacto debe estar por San Martín de Sargayolas. Del mismo modo yendo de Montblanch a Lérida el tramo de las margas buza al O. y se introduce debajo del horizonte calizo de Tárrega que constituye la

meseta que se extiende desde Florestá y Borjas hasta cerca de Lérida. Este horizonte de Tárrega, de molasas en forma de losetas, por estar formado por materiales que resisten mejor a la erosión que las margas infrayacentes y que las margas superpuestas, y a pesar de tener poco espesor, cubre una gran extensión en forma de meseta en la zona occidental y baja de la provincia de Lérida. Su fauna fué descrita por Vidal y Deperet, pero sólo se encontraron restos de vertebrados en Tárrega y unos mal definidos en Almatret. En general se observa una gran preponderancia de las *Limnaeas* y estos fósiles sirven en muchos sitios para determinar este horizonte. En Mequinenza se aprecia bien la diferencia de los dos tramos de Calaf y Tárrega. En el último no hay carbón.

El tramo de las margas que Vidal llamó de Lérida, lo hemos hallado en algunos cerros próximos a esta Capital y también en el Castillo de Mequinenza. Fósiles no hemos hallado. A estas margas las clasificó Vidal de aquitanien-ses y pueden ser también estampienses. De modo que existe la duda de si se trata de la parte alta del oligoceno o de la base del mioceno.

El tramo de las areniscas miocenas solamente lo hemos visto en Aragón en donde según los estudios recientes del Sr. Gimeno lo considera como la base del mioceno de Aragón.

Nosotros hemos visto claramente el contacto del mioceno con el oligoceno, junto al Ebro, a 4 kilómetros aguas arriba de Mequinenza, comprobándose en la cuenca de este río que el oligoceno buza hacia el Oeste, situándose debajo del mioceno de Aragón.

Resulta de estas consideraciones que los depósitos salinos de Remolinos, Sástago y otros ocupan un horizonte más alto geológicamente considerado que los depósitos

potásicos de Cataluña.

El yacimiento potásico

De muy distintas formas y maneras se presenta el yacimiento potásico en los distintos trabajos y sondeos realizados hasta el presente. Podemos considerar como criadero normal el hallado en el sondeo de Llardella, a 8 kilómetros al O. de Cardona, puesto que por su potencia y constitución viene a representar un término medio entre los encontrados.

El criadero se apoya en la sal común blanca. Se encuentra ésta transparente, muy bien cristalizada, con las intercalaciones de lechos apenas perceptibles (Jahrrings) de margas y anhidritas, y éstos bastante separados. Se presenta cristalizada, y podría, a semejanza de como se la llama en Alemania, nombrarla vieja. Encima del criadero se presenta el tramo de las margas y sal en lechos muy delgados. La sal común, superior a este horizonte, se presenta en vetas y nódulos, que indican un origen secundario o de segunda formación, y se puede llamar joven.

La sal potásica se presenta mezclada con la sal común, y forma vetas y bolsadas dentro de la masa de halita, pero no obedeciendo en su presentación a ley alguna. Sin embargo, con objeto de dar idea de la riqueza del criadero, nosotros hemos agrupado por capas las distintas vetas halladas en el sondeo, y hemos analizado cada una de ellas. En el plano adjunto hemos representado el corte del criadero potásico, pero es preciso advertir que las zonas que están consideradas en el plano como de sal común, tienen a veces una importante proporción de K_2O , existiendo además muchas más capas de sal potásica que

las representadas, que no se han tenido en cuenta por su poco espesor.

Se puede apreciar que en la base se presenta la silvinita muy pura en una zona de 8 metros, de los cuales consideramos una potencia útil de 6,28 metros con una riqueza media del 30 por 100 en K₂O.

Sigue la zona de la carnalita, de unos 49 metros, de los cuales se pueden suponer que hay 20,50 metros de espesor en carnalita, con una riqueza media del 9 al 10 por 100 de K₂O.

En la parte superior existe una zona de unos 15 metros en que se pueden considerar 6,89 metros de espesor de sal potásica, con una riqueza del 15 al 17 por 100 de K₂O. Las capas de esta zona están formadas por una mezcla de halita, carnalita y silvinita.

Sumando la potencia de las distintas capas, obtenemos que en el criadero cortado en Cardona, en 72 metros de potencia, se han cortado 34 metros de vetas de sal potásica explotable, con una ley de 14,62 por 100, que representan 5 metros próximamente de K₂O pura, haciendo las debidas reducciones.

La carnalita tiene el color rojizo característico. Un análisis de un trozo puro ha dado el resultado siguiente:

Cal	0,07
Magnesio	8,63
Sodio	1,43
Potasio	10,78
Anhidrido sulfúrico	0,10
Cloro	37,60
Residuo insoluble en agua	0,20
Elementos no determinados y agua de combinación	41,19

SONDEO DE CARDONA CORTE DEL YACIMIENTO POTÁSICO

Profundidad.	Potencia de la capa.	CONSTITUCIÓN DE LA CAPA			Riqueza en K ₂ O
1.522 m.	0,13 m.	Carnalita	Halita		13,50 %
	0,35	Id.	Id.	Silvino	19,03
	0,25	Id.	Id.		9,15
	0,97	Id.	Id.	Id.	29,30
	0,54	Id.	Id.	Id.	27,81
	4,37	Id.	Id.	Id.	15,36
	0,54	Id.	Id.	Id.	16,10
	0,82	Id.	Id.	Id.	14,70
	0,41	Id.	Id.		13,04
	3,19	Id.	Id.		10,24
	2,57	Id.	Id.		7,02
	0,33	Id.	Id.		8,02
	0,71	Id.	Id.		11,03
	3,55	Id.	Id.		8,36
	1,62	Id.	Id.		9,02
	0,59	Id.	Id.		7,08
	4,32	Id.	Id.		7,30
	2,53	Id.	Id.		9,50
	0,35	Id.	Id.		11,36
	3,80		Id.	Silvino	34,10
	2,48		Id.	Id.	22,10
1.592 m.					

Estos elementos pueden ser combinados así:

Sulfato de cal	0,17	por 100.
Cloruro sódico	3,65	—
— potásico	20,60	—
— magnésico	34,19	—
Residuo insoluble	0,20	—
Elementos no determi- nados y agua de com- binación	41,19	—

Es decir, que es una carnalita con sal común y sulfato de cal, pero sin sulfato de magnesio.

La silvinita, en la parte superior del criadero y en la zona alta de la inferior, tiene un color rojizo; pero en la zona más baja del mismo presenta un color blanco, un tanto rosáceo.

Un análisis sobre un trozo escogido, dió el resultado siguiente:

Cal	0,40
Magnesio	0,10
Sodio	11,01
Potasio	35,20
Anhidrido sulfúrico	0,53
Cloro	49,30
Residuo insoluble en el agua em- pleada en la disolución.....	0,15

Estos elementos pueden combinarse en la siguiente forma:

Cloruro potásico	67,20
— sódico	28,00

Cloruro magnésico	0,40
Sulfato de cal.....	0,93

El residuo insoluble en el agua empleada para su disolución estaba formado en su mayor parte por sulfato de cal.

Se trata, pues, de un silvino puro mezclado con sal común, y sin contener otros sulfatos que el de cal. La silvinita presenta unas manchas violáceas que la diferencia de las silvinitas alsacianas. Atribuye este color violáceo, el señor Menéndez Puget, al permanganato potásico.

Un análisis hecho por el notable químico Sr. Camprodon, en Saint-Nazaire, sobre una muestra de carnalita del sondeo, dió el resultado siguiente:

Residuo de sílice y óxido de hierro..	1,75
Cal.	0,50
Ácido sulfúrico.....	0,68
Magnesio.	7,12
Sodio.....	8,06
Potasio.....	9,04
Cloro.....	41,31
Humedad total.....	31,54
	<u>100,00</u>

Y sobre dos silvinitas, los siguientes:

	Roja	Blanca
Insoluble.....	0,98	0,20
Cal.....	0,50	0,40
Magnesio.....	0,25	0,25
Ácido sulfúrico.....	0,48	0,34
Sodio.....	2,80	2,85

	Roja	Blanca
Potasio.....	46,95	47,40
Cloro.....	46,92	47,42
Agua combinada.....	1,00	1,00
Pérdidas.....	0,12	0,14
Total	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

En las salinas de Cardona nosotros hemos hallado silvinita con leyes de 96,56 y 98,90 por 100 de cloruro potásico, según análisis del Laboratorio de la Escuela Especial de Ingenieros de Minas. La Sociedad General en Explosivos nos ha proporcionado los siguientes análisis:



Suria. Sala grande. Capas de silvinita de 0,20 u 0,60 metros, interestratificadas con la sal.
 Fot. M. Faura y Sams.



	Insoluble	K ₂ O	Cl	SO ₃	CaO	MgO
Debajo del Castillo	1,84	21,64	54,31	1,47	2,4	—
Centro de la Gran Bofia	0,66	4,86	39,64	1,78	0,40	0,81
Fuente a 40 metros al NO. de Forat del Mico	0,56	42,42	51,83	1,47	0,90	0,07
Frente Montaña Roja	0,48	58,92	51,10	0,65	—	—
Id. id.	0,21	61,20	47,50	0,54	—	indicios



Fot. M. Faura y Sans.
Suria. Sala grande. Capas de silvinita de 0,20 a 0,60 metros, interstratificadas con la sal.



Se aprecia a simple vista en la Montaña Roja una gran veta de silvinita. El agua del río Cardoner, antes de afluir a él el arroyo que pasa por las salinas, no contiene potasa y sólo indicios de cloro. Después de la confluencia contiene 0,1 gramos de K_2O por litro y 0,7 de cloro. El agua que pasa por las salinas contiene 14,5 gramos de K_2O por litro.

Los sondeos realizados por esta Sociedad en las mismas salinas cortaron la zona potásica de forma muy parecida a como se hizo en el sondeo de Cardona, ejecutado por el Estado. Los estratos se cortaron a 45° y la zona potásica en alguno de ellos llegó a tener 180 metros de potencia, de los cuales los 70 más inferiores eran de silvinita. Una de las capas tenía 3,50 metros de potencia. La carnalita era rojiza y la silvinita de este color, violeta y blanca. Esta última tenía una riqueza del 40 % de cloruro potásico, en general del 20 al 25 %. En la carnalita hay capas hasta de 8 metros y la riqueza oscila entre 18 y 22 % de cloruro potásico.

En uno de los sondeos se cortó la capa de carnalita entre dos de silvinita, indicando claramente la presencia de un pliegue. En los sondeos realizados a los dos lados del valle de la salina, en donde se presenta la Montaña Roja, se ha puesto de manifiesto la forma de cúpula con que se presenta el criadero, en el valle donde se encuentran las salinas.

Tiene como ventaja toda esta zona la proximidad del criadero a la superficie que llega a permitir explotar por galerías algunos pequeños macizos del mismo.

En Suria, el criadero en su aspecto normal, tiene una constitución y potencia parecido al que acabamos de describir. En el pozo actual se puede considerar que se han atravesado en 52 metros, en distintas vetas, 20 metros de

carnalita, con una ley del 10 por 100 en $K_2 O$, y unos 8 metros de silvinita con ley superior al 20 por 100. Se presenta en la base la silvinita, encima la carnalita. La primera capa de esta última sal se cortó a los 170 metros de profundidad, la primera de silvinita a los 261 metros.

La proporción de potasa en todo el conjunto del criadero de Suria, o sea incluída la sal común, es de 6 a 7 por 100.

Análisis de carnalitas recogidas en Suria dieron el resultado siguiente, según el Sr. Hauser, del Laboratorio de la Escuela de Ingenieros de Minas:

MUESTRAS	Cl	Mg O	$K_2 O$
1	44,70	10,07	12,50
2	41,50	13,06	15,26
3	41,50	12,02	12,30
4	46,70	9,38	11,52

El criadero, en la zona de carnalita, viene a tener un 22 por 100 de carnalita y un 0,8 por 100 de silvinita. La ganga importante es la sal común. Tres silvinitas típicas de Suria, analizadas, dieron los resultados siguientes:

	I	I	
Cloruro potásico	77,00 %	72,44 %	97,00 %
Cloruro sódico	16,06 %	22,56 %	} 2,40 %
Humedad, agua de combinación e indeterminados.	6,81 %	5,00 %	

La Sociedad Solvay y Comp.^a nos ha dado un análisis medio de la silvinita de Suria que es como sigue:



Interior de la mina de Suria de la Sociedad Solvay y Cia.
Vetas alternantes de silvinita y sal común.





Interior de la mina de Suria de la Sociedad Solvay y Cia.
Vetas alternantes de silvinita y sal común.



Insoluble	0,57
Humedad	0,08
So ₄ Ca	1,36
So ₄ Mg	0,60
Cl ₂ Mg	0,32
Cl K	65,52
Cl Na	31,34

La silvinita, a veces está casi pura, como se deduce del análisis que hemos dado de Cardona, y otras veces está mezclada con carnalita, como en la parte alta del criadero.

Hemos hecho varios análisis y no hemos hallado sulfato de magnesio.

La potencia de la zona potásica es muy variable en los diferentes sondeos de Suria, llegó en algunos a 201 metros, y en Callús sólo se observaron algunas bolsadas en una zona de 150 metros de sal, encima de la sal blanca; pero, exceptuándose este último, en todos los demás se encontró el yacimiento potásico en condiciones explotables.

En Vilanova la Aguda se puede decir que se cortan tres horizontes de zona potásica. En el sondeo número 1, hecho por la Sociedad Fodina, se cortó el primero entre 303 y 315 metros de profundidad, habiéndose encontrado carnalita con una proporción en cloruro potásico entre el 7 y el 12 por 100. El criadero está formado por carnalita y halita mezcladas, pero en la parte inferior se une a ellas el silvino. El Sr. Müller hizo notar la falta de agua de combinación que entra en el contenido de la carnalita, muy inferior a la que debe contener, observación que ya había hecho el geólogo Almera con la sal común de Suria.

El segundo horizonte está comprendido entre las profundidades 661 y 667, y la naturaleza es parecida a la anterior, pero más rico; término medio, 12% de cloruro potásico.

El tercer horizonte está comprendido entre 680 y 684 metros de hondura, y estaba compuesto de una mezcla de sal gema y silvino, con una riqueza igual a la anterior. Las zonas comprendidas entre los horizontes potásicos y la que se halla por debajo del criadero está constituida por sal común.

En el sondeo número 2 de Vilanova la Aguda se cortó la zona potásica a los 697 metros, y tuvo un espesor de 98 metros. Considera la Sociedad Fodina que, en los 33 metros más altos, el mineral predominante es la carnalita, pero en la base se presenta la silvinita. La riqueza en estos 33 metros es de un 10 por 100 de cloruro potásico, pero hay vetas en unos 10 metros que tienen del 12 al 16 por 100 de cloruro potásico.

Considera la Sociedad Fodina la segunda zona de silvinita de 58 metros de potencia, en la que existen unos 10 metros con una riqueza en cloruro potásico de 17 a 26 por 100. Tiene la particularidad esta zona, según los análisis del Dr. Müller, que se ha presentado la kieserita en dos pequeñas capas, que no la hemos hallado nosotros en ninguna otra parte.

En los últimos 7 metros se presenta algo de silvino, pero inexplorable. Sostiene la Sociedad Fodina que ha encontrado trazas de polyhalita.

En el sondeo de Castellfullit, no es posible determinar bien ni la potencia ni la naturaleza del criadero, a consecuencia de haberle cortado en pliegues. Se puede suponer a la zona potásica una potencia de unos 50 metros. La silvinita ocupa la parte central, como eje del pliegue, y muestra en ella recogida dió 65 por 100 de cloruro potásico. La carnalita contenía 18,85 de cloruro potásico.

Un análisis de la carnalita hallada en el sondeo de Castellfullit da el resultado siguiente, según el Sr. Menéndez Puget:

Cloruro sódico	27,81
Id. potásico	22,24
Id. magnésico	26,72
Insoluble	0,40
Sulfato cálcico	0,41
Agua y elementos no determinados .	21,60

En el sondeo de Balsareny se cortaron 55 metros de criadero, con 14,20 de vetas potásicas, con una riqueza media de 14 a 15 por 100 de K_2O , con la particularidad de que no están dispersas en toda la masa de sal común, sino que forman verdaderas capas muy fácilmente explotables, de las cuales son las más importantes las siguientes: una a la profundidad de 706 metros, con un espesor de 2,50 y una riqueza del 13 por 100 en K_2O ; otra a los 708 metros, de 2,35, con el 10 por 100, otra a los 721 metros, de 3 metros, con 14 por 100, y, por último, en la base, una de 1 metro de silvinita, con 22 por 100. Todas las vetas están constituidas por carnalita mezclada con algo de silvinita, en lo que se diferencia del resultado de los otros sondeos. El criadero representa una potencia en K_2O de 2,21 metros de carnalita.

Un análisis completo efectuado por el señor Menéndez Puget arroja el siguiente resultado:

Cloruro sódico	11,85
Id. potásico	22,15
Id. magnésico	25,96
Insoluble	6,80
Sulfato cálcico	1,25
Agua y elementos no determinados .	29,80

Representa la cuenca española descubierta una riqueza

ya positiva y de mucha importancia, y creemos que el criadero, respecto a potencia, es el más rico del mundo. Es de esperar que los resultados de futuras exploraciones arrojen más luz sobre la extensión de la cuenca y sobre la determinación de las zonas en que el criadero se halle a profundidades explotables.

Hasta el presente, se deduce la existencia de una cuenca salina de unos 42 kms. de longitud por 15 de ancho, en cuya superficie de 330 kms² se han hecho 33 sondeos, de los cuales 27 (uno de ellos a profundidad inexplotable) encontraron potasa. De los 6 restantes tenemos dudas de si en tres de ellos la ejecución material fué la debida para poder hacer afirmaciones sobre su resultado negativo. De los otros tres en uno de ellos se llegó al eoceno sin encontrar sal; en otro se alcanzó la profundidad de 1.200 m. sin acabar de atravesar los depósitos salinos y en el tercero se interrumpió antes de poder llegar al manto potásico.

Dentro de esta región salina hay una zona en la que los sondeos han fijado ya completamente la importancia del yacimiento potásico y en la cual podemos ya ubicar, pero bien entendido que hay otras muchas zonas fuera de la región salina en las que se ha descubierto la potasa a profundidad explotable, o cuya existencia es muy presumible y que no entran en el cálculo que ahora vamos a hacer.

Esta zona ya reconocida con cierto detalle, se extiende de E.-O., aproximadamente desde 1 1/2 kilómetros al Oeste de Suria hasta por lo menos 2 1/2 kilómetros al E. de Balsareny, o sea en una longitud de unos 15 kilómetros. La anchura de la cuenca es de unos 4 ó 5 kms. lo que representa una extensión superficial de 67 kms. cuadrados.

La profundidad a que se encuentra la sal potásica en toda esta zona, varía entre 200 y 800 metros, pudiéndose adoptar una media de 600 metros, o sea próximamente

la misma que la profundidad que tienen las minas potásicas en Alemania y Alsacia.

La potencia del criadero, ya la hemos indicado anteriormente, pero suponiendo sólo una riqueza en óxido potásico anhidro de la mitad de la cortada en los sondeos que han servido para demostrar la existencia de esta cuenca continua de Suria a Balsareny, o sea tomando como mínimo una potencia ya reducida en K₂O de 2 metros, y suponiendo una densidad de dos, podemos considerar que hay hoy día investigadas y reconocidas 268 millones de toneladas de óxido potásico anhidro a profundidades explotables. Esta cubicación representa más de 2.000 millones de toneladas de sales potásicas tal como sale de la mina, de los cuales se pueden suponer 400 de silvinita y el resto de carnalita.

Además está investigado el yacimiento potásico en las salinas de Cardona en un kilómetro cuadrado aproximadamente, lo que representa más de cuatro millones de K₂O. En Castellfullit y en Vilanova la Aguda también está reconocido el criadero pero de su importancia industrial es imposible formar juicio por ahora.

El Estado hizo cuatro sondeos, dos han cortado la potasa a profundidades explotables, no mayores de las halladas en las otras cuencas potásicas del mundo. Otro de los sondeos cortó el yacimiento potásico, aunque a profundidad muy grande, que lo hace inexplotable en este sitio, pero ha dado mucha luz sobre la importancia de la cuenca y sobre su continuidad y extensión y desecha la idea de concentraciones potásicas en determinados lugares. Por último, el cuarto sondeo, probablemente por hallarse también a mucha profundidad el criadero, no tuvo éxito.

El resultado obtenido representa, pues, un gran éxito

para el Estado, con la particularidad de que el resultado del sondeo de Balsareny demuestra ya la efectividad de tener una cuenca potásica explotable en la zona que aquél se reservó.

En Alsacia se hicieron cerca de 200 sondeos, habiendo obtenido éxito mucho menos de 50.

La extensión de la cuenca, incluída la prolongación al E. y N., es superior a la de Alsacia, y su riqueza en potasa mucho mayor. Nosotros suponemos como mínimo una riqueza en K_2O de 2 metros por metro superficial, y en Alsacia, en el sitio de mayor riqueza, donde las capas alcanzan en conjunto 5 metros, la riqueza en K_2O es próximamente de un metro. Esta riqueza máxima de Alsacia la alcanzamos nosotros, muchas veces con la veta de silvinita de la base del criadero. En Alemania, la zona de carnalita es de 30 a 35 metros y su riqueza en K_2O , cuando más, llega a cerca de los 2 metros; pero nosotros hemos considerado esta cifra como mínimo, y para ellos es un máximo. Hay sitios en nuestro criadero que la riqueza en K_2O llega a 4 y 5 metros. El criadero de Alemania es muy irregular, y en general, las sales más pobres en potasa que las españolas.

Génesis del yacimiento

Está hoy admitido por casi todos los geólogos que los depósitos potásicos y la mayor parte de los de sal común deben su origen a la precipitación por desecación de mares interiores o lagunas de agua salada. Los estudios de Carl Oxenius (1) descubriendo en la propia sal de Cardo-

(1) Formaciones salinas de Douglas y Egalu (1877).

dona restos de infusorios desechan para la génesis de la sal toda acción de origen interno hidrotermal.

A esta teoría de sedimentación se le ha hecho siempre una objeción que no deja de producir sobre nuestro ánimo una sensación de duda. Consiste en que existen criaderos como los de Stassfurt y los mismos de Suria y Cardona en donde el espesor del manto pasa de 200 metros y en sitios llega hasta 500. Tales depósitos, dado el reducido contenido de cloruro sódico en el agua del mar (el 3 a 3,3 % en las actuales del Mediterráneo), implicarían las existencias de profundidades inadmisibles en los mares interiores, pues llegarían a alcanzar la máxima de los océanos actuales.

La Geología, para buscar el origen de los hechos preteritos, necesita estudiar los fenómenos actuales, y como ya tenemos indicado en capítulos anteriores, se ha querido explicar la formación de estos grandes depósitos salinos de dos modos: o suponiendo que ha pasado al formarse los depósitos salinos una cosa análoga a lo que ocurre en el lago Kara Boghaz, alimentado por el mar Caspio, o lo que ocurre en el lago Assal en la Abisinia, donde las aguas que alimentan el lago para después, por evaporación, depositar la sal, provienen del mar por filtraciones. En el primer caso se trata de un lago abierto al mar temporal e intermitentemente; en el segundo se trata de una verdadera laguna cerrada, cuyos manantiales de alimentación obtienen sus aguas del propio mar.

El caso del lago oligoceno de Cataluña parece tener cierta analogía con el de los lagos de la Eritrea; pero diferenciándose en el modo de ser alimentado el lago. En efecto, no hay razón alguna que nos obligue a suponer que el referido lago tuviera comunicación alguna con los mares existentes después de la retirada del mar eoceno. Pa-

ra explicarse la aportación de la sal no es preciso acudir a fenómenos de filtración; basta considerar que aguas continentales afluyen al lago en una menor proporción que las que se iban evaporando y que iban cargadas de sales a consecuencia de pasar por criaderos antiguos de estas substancias (como veremos después, en Cataluña debieron existir al descubierto o poca profundidad en aquella época). Por consiguiente, para la formación de las sales de Cataluña es preciso que se realizaran los hechos siguientes: 1.º Formación del lago. 2.º Aportación de aguas continentales cargadas de sales y evaporación de las mismas. 3.º Precipitación de las sales y formación encima de depósitos de materiales que han servido para conservarlas hasta nuestros días.

Formación del lago. —No cabe duda de la existencia de un gran lago oligoceno ocupando una gran parte de las provincias de Barcelona y Lérida y que tenía su prolongación en una gran parte de la actual depresión del Ebro. La parte oriental de este lago ocupa casi todo el terreno representado en el plano geológico de la cuenca potásica. Toda esta zona está ocupada por materiales pétreos lacustres y todos los fósiles que hemos descrito en el curso de este trabajo también lo confirman.

Como en todo estudio de génesis de criaderos, el examen de la tectónica de la región es indispensable, así se puede poner de manifiesto cómo se pudo formar el lago que contuvo las sales. En efecto, durante el permiano se inició el movimiento herciniano de los Pirineos, y al comenzar el período secundario se inicia el geosinclinal de la cuenca del Ebro. Durante el triásico se pueden observar en la Península Ibérica las dos facies de este terreno, la batial o alpina y la lagunar o germánica, ha-

biendo un paso o zona intermedia entre las dos. Ambas se ven en Cataluña. Al final del período triásico tuvieron lugar los depósitos de margas, yesos y sal, de los que tan abundante muestra nos presenta Cataluña.

Durante el período cretáceo el mar penetró por el Norte y le sirvieron de barrera algún islote de los Pirineos, entonces de poca importancia, y la muy antigua Cordillera del Litoral. Entonces el suelo catalán estaba unido por sierras con Baleares, Provenza y tal vez con Córcega y Cerdeña. Al final de este período sufrió la zona que nos ocupa descensos importantes que empezaron a alterar grandemente la orografía del país. Se formaron entonces esos depósitos marino-lacustres rojizos que constituyen el tramo llamado garumnense, sincrónico del danés.

Siguieron los movimientos de descenso en el período eoceno con gran intensidad. A consecuencia de ellos el mar nummulítico entra por el golfo de Rocas y se extiende desde el antiguo Mediterráneo, Thetis, hasta la alta cuenca del Ebro, pero sin comunicar con el entonces mar de Islandia. A consecuencia de estos movimientos orogénicos se retira el mar eoceno y al régimen marino sigue el régimen lagunar. Entre los Pirineos, la Cordillera del Litoral y las estribaciones orientales de la Cordillera Ibérica se forma un gran lago que es rellenado posteriormente por depósitos oligocenos y miocenos.

Al principio del régimen lagunar, el clima era tropical, sahariano y en él la evaporación era tan fuerte que las aguas restadas al lago eran muy superiores a las que pudieran ser aportadas por las aguas continentales. Este régimen climatológico trajo consigo una gran precipitación de sales y por consiguiente la formación de los yacimientos de sal común y potásicos de Cataluña. Posteriormente el clima varió, pues aunque la temperatura seguía siendo al-

ta, las lluvias eran abundantes y entonces se efectuó el depósito de los materiales situados encima de la sal, al principio marcando el tránsito de un clima a otro, y luego ya francamente lluvioso, como lo demuestra la exuberante vegetación que debió entonces existir y que con el tiempo ha dado lugar a las capas de lignito de Calaf, Sampedor, Palá, Almatret, Mequinenza. etc. El lago entonces existente se alimentaba con las aguas vertidas por el N. en los Pirineos y por el Sur en la Sierra del Litoral, es decir, con un régimen, en lo que a esta sierra se refiere, contrario al actual. En las márgenes del lago vivían mamíferos y reptiles, cuyos restos fósiles llegaron hasta nosotros y fueron descubiertos por Bofill, Vidal y Deperet en Calaf y Tárrega. Al mismo tiempo que en Cataluña vivían las mismas especies en los lagos de Suiza, Provenza y Baleares.

Así, pues, queda explicado por el estudio de la tectónica de la comarca cómo se formó el lago, cómo se precipitaron las sales y cómo fueron recubiertas por otros depósitos. Mas estos criaderos no permanecieron *in situ*, sino que a consecuencia de otros movimientos orogénicos, posteriores a la formación de las sales, acaecidos durante el final del oligoceno o principios del mioceno y que influyeron mucho en dar el relieve actual al Pirineo, se ocasionaron pliegues y dislocaciones en los estratos oligocenos que han motivado la aproximación de las sales a la superficie y fueron causa de que el hombre apercibiera la existencia de éstas.

En Cataluña los depósitos miocenos de Seo de Urgel, Puigcerdá y también los de Tarrasa y Sabadell, en donde se han encontrado fósiles mamíferos, están horizontales, es decir, que el movimiento que plegó los estratos oligocenos debe ser anterior a los más antiguos de esos de-

pósitos que juzgamos deben ser de edad tortoniense. También en esta época, y por movimientos y dislocaciones ocurridas en la cordillera del Litoral, el Besós, el Llobregat y el Tordera corren en la dirección que lo hacen al presente, cortando la referida sierra por las hoces actuales. Entonces también se inició la separación de Baleares de la Península, que se fué marcando más y más durante el período mioceno.

Procedencia de las sales.—El mar eoceno catalán, origen del lago salino, no parece fué de gran fondo según se deduce de los fósiles hallados debajo de los terrenos oligocenos. Se puede suponer como profundidad de 200 a 300 metros, aunque hay algún género de los hallados que vive hoy a profundidades mayores de 500 a 600 metros. Pero, indudablemente, una vez retirado el mar, el lago no podía alcanzar mayores honduras, así que la cantidad de sales que contuviera no puede explicar esos grandes depósitos hallados en Cataluña. Tampoco parece posible atribuir, dada la geología catalana, a alimentaciones intermitentes del lago oligoceno por aguas marinas; no parece probable la existencia de esas barreras de carácter provisional a que es preciso recurrir para la explicación del fenómeno.

Nosotros creemos que la mayor parte de las sales depositadas en la cuenca catalana tienen un origen secundario; son las mismas que se depositaron durante el régimen lagunar existente en el período permo-triásico. En efecto, nosotros ya hemos indicado la gran abundancia de manchas triásicas que se presentan en las faldas de los Pirineos. En muchas de ellas a las margas del Keuper acompañan ofitas, yesos y sal. En Gosol, esta última substancia fué explotada. Del triás apenas se percibe su presencia,

pues todo lo que rodea a la salina es cretáceo y se presenta cerca del borde oligoceno. En Gerri, en el mismo pueblo, se explotan para la obtención de cloruro de sodio unas aguas salinas que brotan en el keuper con su cortejo de ofitas. En Rubió de Dalt ocurrió lo mismo en otro tiempo, pues, según nuestras noticias, hoy estas salinas están paralizadas. Un sondeo realizado en Comá, ubicado en una pequeña mancha triásica, cortó un banco de 100 m. de sal común. En Cambrils existe una fuente salada y junto al molino radican las balsas para su explotación. La fuente nace en el triásico y hasta muy cerca de ella llegan los conglomerados oligocenos transgresivos sobre el cretáceo. El señor Schmidt (1) ha hecho análisis de 15 manantiales brotando en el keuper que se presenta al Sur de los Pirineos entre Brocá (Barcelona) y Jaca (Huesca) y también de 5 manantiales oligocenos, resultando que la proporción media de los 15 manantiales fué en cloruro potásico: 1,91 % y el de los 5 oligocenos 1,95 %, es decir, que indican una riqueza en potasa muy superior a la contenida en los mares.

Conviene también hacer presente que se ve en muchos sitios el contacto de los yesos oligocenos con los triásicos, como en Artesa, Cubells, Montmagastre, etc.

Resulta por tanto que en el borde N. del lago oligoceno se observan una serie de manchas triásicas, que muchas de ellas pudieron ser bañadas por las aguas terciarias. Suponiendo además que en el fondo del lago puedan

(1). En el Congreso Geológico de Bruselas, año 1922, tuve el honor de dar una conferencia sobre el yacimiento potásico español en la que expresaba la íntima relación que existe en Cataluña entre el triásico y el oligoceno. Tuve la fortuna de ver corroborada mi opinión por una autoridad en geología, como la del Sr. Schmidt. Este señor hizo después de mi conferencia varias manifestaciones y de ellas he tomado los datos que transcribo en este párrafo.

existir otros asomos triásicos, se comprenderá muy bien que ya las mismas aguas del lago o aquellas continentales que lo alimentaban (aunque en menor proporción que las pérdidas por evaporación) podían disolver las sales más solubles de los criaderos triásicos y llegar a producir unas aguas cargadas de sales en una proporción muy superior a la de los mares ordinarios. Después, por evaporación de las aguas en un clima tropical se precipitaron las sales pudiendo llegar a producir esos grandes depósitos salinos que con aguas análogas a las del mar, sería imposible concebir. Resulta, por tanto, que con esta explicación se considera al criadero catalán como secundario, pues la sal existente no se ha formado *in situ*. Viene a ser el caso de un placer aurífero procedente de un filón de este metal que tal vez *in situ* no fuera beneficiable.

También puede explicarse en parte el espesor grande del manto salino, porque las sales se reúnen y se concentran en el centro del lago. Allí se depositan, no sólo las correspondientes al volumen de agua que está situado en la vertical del depósito salino, sino también las correspondientes al volumen de las aguas que tienen su proyección horizontal en los bordes. En efecto, se ha podido apreciar en el sondeo efectuado en Callús, que la sal potásica se pierde a mucha distancia de lo que debía ser el borde del lago y en el sondeo de Puigreig se ha podido observar lo mismo, que la sal común no existe a alguna distancia del referido borde, es decir, que las sales correspondientes a todas las aguas del lago se sitúan en la parte central del mismo, y por consiguiente, que los depósitos de sales corresponden a aguas más concentradas que las que existían en el lago cuando no había comenzado la desecación.

La fácil disolución de los cloruros potásicos y magnésicos y la gran superficie que presentarían a las aguas los yacimientos salinos, explican la presencia casi exclusiva de dichas sales en los yacimientos catalanes, pues los sulfatos son más difícilmente solubles.

Aunque de este modo se puede concebir la ausencia de los sulfatos, a excepción del de cal, en los criaderos que nos ocupan, mucho mejor que considerando estos depósitos originados por evaporación de aguas marinas; sin embargo, no se comprende bien que aquéllos no existan, aunque sea en cantidad pequeña, pues los que aparecieron en los testigos de los sondeos de Vilanova la Aguda no nos parecen suficientes para rebatir de un modo contundente la objeción que examinamos. No hay que olvidar que las aguas primitivas del lago, una vez retirado el mar, debían contener algunos sulfatos, aunque claro es que representarían una muy pequeña cantidad comparada con el total de sales aportadas posteriormente al lago y que son las verdaderas engendradoras del criadero.

Conviene por último hacer resaltar que los fenómenos geológicos durante el triásico y el oligoceno presentan mucha semejanza. En el período permo-triásico se pasa por los movimientos hercinianos de un régimen marino a un lagunar. Esto mismo ocurre en el período eoceno-oligoceno por los movimientos alpinos. En Alemania, los criaderos permo-triásicos son los que se explotan. En España puede ser que suceda lo mismo, pero después de haber pasado por una redisolución y precipitación en el período oligoceno.

Precipitación de las sales.—Según la teoría que acabamos de exponer sobre la procedencia de las sales de los yacimientos de Cataluña, la composición de las aguas que

formaban el lago oligoceno diferirá bastante de la normal en las aguas de los mares actuales. Sin embargo, al estudiar el proceso del depósito de las sales, se verá que durante el primer período, o sea cuando se depositan las sales cálcicas y el cloruro de sodio, es decir, antes de la constitución de las aguas madres, el orden de precipitación será el mismo que se observa en las salinas marinas actuales, solamente que la concentración de sales está más avanzada. Las aguas medias del Mediterráneo contienen, *grosso modo*, las siguientes cantidades de los cuerpos que más interesan a nuestro objeto, y por metro cúbico de líquido:

Sal común	30
Sulfato magnésico	5
Cloruro magnésico	3,3
Sulfato de calcio	1,6
Cloruro potásico	0,7
Carbonato cálcico en estado de bicarbonato	0,3

En el gráfico adjunto se expresa el contenido de sales, densidad y volumen correspondientes a un metro cúbico de agua del mar Mediterráneo.

Sometidas a la evaporación natural las aguas marinas, a los 12° a 13° Beaumé, se desprende rápidamente el carbonato cálcico. A los 15° B. se inicia la precipitación del sulfato cálcico, cuando se reduce su volumen a $\frac{1}{5}$. A los 28° B. se deposita esta sal casi por completo.

La curva especial de solubilidad del cloruro sódico permite a las aguas, a pesar del alto contenido en esta substancia, retenerla hasta más allá de los 16° B. En este momento y con una temperatura de 35° a 40° se inicia un

ligero depósito mezclado aún con sales cálcicas. Cuando realmente acaece la precipitación de la sal común es entre los 25° y los 26° B., o sea cuando el líquido se ha concentrado al $\frac{1}{10}$ o $\frac{1}{14}$ de su volumen inicial. El depósito sódico sigue bastante rápido de los 28° a los 35° B., pero ya a los 29° o 30° se hace sensible el depósito de las sales magnésicas y las lejías se convierten en las aguas madres, y el proceso de precipitación de las sales en ellas contenidas se efectúa obedeciendo a leyes bastante complejas.

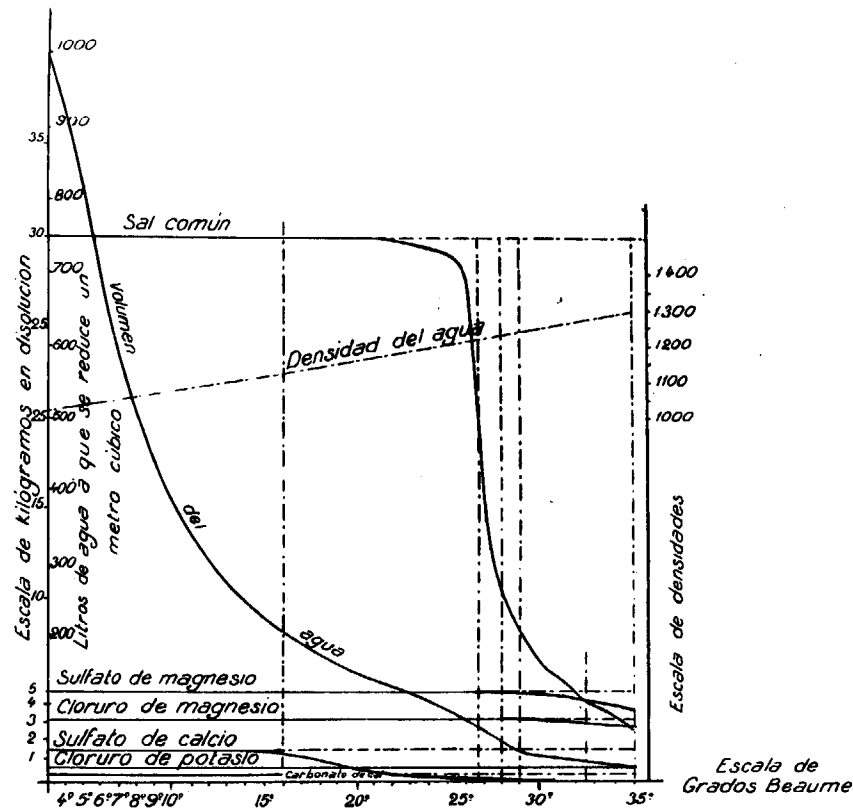
En efecto la solubilidad de un cuerpo cualquiera en agua pura o poco cargada de sales no es la misma que si el disolvente contiene grandes cantidades de otra sal soluble; a veces cuando entre las sales tienen lugar intercambios de ácidos, la solubilidad puede aumentar. En la mayor parte de los casos, y principalmente cuando se pueden formar sales dobles o múltiples, sucede todo lo contrario.

Es mas, toda sal compleja tiene a una cierta temperatura una solubilidad determinada y generalmente intermedia entre las que tienen las sales simples que la componen. La concentración típica de una disolución (a cierta temperatura) para que cristalice esa sal doble es lo que se ha llamado punto final de cristalización.

Los trabajos de Van t'Hoff sobre esta clase de fenómenos y muy especialmente sobre las sales de sodio, potasio, magnesio y calcio, arrojan mucha luz sobre la precipitación de las sales potásicas y magnésicas en las aguas madres. Él se valió de una anotación especial para representar las condiciones de solubilidad de los distintos compuestos en los que entraban moléculas de Cl_2 , Mg , Cl_2K_2 , SO_4K_2 , SO_4Mg y NaCl . Sus discípulos siguieron sus investigaciones, principalmente d'Ans y Sanecke.

GRÁFICO

Contenido en sales, densidad y volumen correspondientes a un metro cúbico de agua del mar en el Mediterráneo



Del resultado de los trabajos de Van t'Hoff y de Meyerhaffer se pueden sacar varias consecuencias. Supongamos el caso sencillo de mezcla de los dos cloruros: sodio y potasio. A una temperatura dada, 25°, una disolución saturada de ambos no contiene ni la cantidad de cloruro potásico ni de sodio que contendría una lejía saturada de uno sólo de los dos cloruros, y la saturación por ambas sales corresponde a una cierta relación ponderable entre ellas. Resulta, pues, que si una disolución se concentra sin variación térmica y reduciéndose de volumen, llegará un momento en que, si la relación entre ambos cloruros no es la del punto final de cristalización, uno de ellos se irá depositando hasta que se alcance dicho punto, a partir del cual las sales se precipitarán en forma de cloruro doble. En nuestro caso, en el cloruro doble de sodio y potasio, el primero está con relación al segundo en la razón de 39 a 89 moléculas.

Los estudios hechos con mezcla de cloruros potásico, magnésico y sódico, que es el caso que hay que considerar en los yacimientos catalanes, parecen demostrar que en aguas cargadas de los tres cloruros con una proporción de cloruro magnésico de más del 25%, y con temperaturas inferiores a 73°, se precipitan las sales en forma de cloruros dobles y no de cloruros sencillos. Pero si dejan de cumplirse cualquiera de las dos citadas condiciones, y la primera es muy verosímil que falte, las sales se precipitan en forma de cloruros sencillos, empezando por el sódico y siguiendo el potásico hasta que se reúnan las condiciones precisas y se precipiten en forma de sales dobles.

Por último, de los estudios de Van t'Hoff se saca la consecuencia que el primer precipitado de las aguas madres del mar, o sea una vez depositado el cloruro sódico fun-

damental, es el cloruro potásico; a éste le sigue el sulfato magnésico y el cloruro potásico; después se deposita la carnalita y, por fin, el cloruro magnésico, el más delicuescente de todos.

Apliquemos estas teorías a los yacimientos potásicos catalanes y veamos si están de acuerdo con lo que allí se manifiesta.

En la cuenca potásica española las aguas del lago oligoceno debían estar cargadas de sulfatos de cal, cloruros de sodio, potásico y magnésico, y apenas debían contener los sulfatos potásico y magnésico. A consecuencia del clima tropical que reinaba en la comarca, la cantidad de agua evaporada era mayor que la aportada, así que las aguas del lago cada vez iban estando más concentradas y empezaron a depositarse las sales por el orden indicado y así aparecen en los cortes hechos por los diferentes sondeos. Primeramente se precipitó algo de calcita, siguió el sulfato cálcico en forma de anhidrita, lo que indica fuerte temperatura y aguas muy concentradas en cloruro sódico. Después se precipitó la sal común blanca. El gran espesor que alcanza esta sal en el criadero se puede explicar por haber estado durante un gran tiempo la concentración del lago constante, de 25 a 30° Beaumé, a consecuencia de que las aguas aportadas equilibraban casi por completo las evaporadas. Después se precipitó, según se deduce de casi todos los sondeos, unos bancos de silvinita o sea cloruro potásico bastante puro. Se puede explicar esta precipitación porque las aguas madres que se formaron después del depósito de la sal común contenían menos del 25 % de cloruro magnésico, y cuando por precipitación de los cloruros potásico y sódico, las aguas llegaron a tener el 25 %, entonces se produjo el punto final de cristalización para el cloruro doble de potasio y mag-

nesio y se depositó la carnalita. Por volver a escasear el cloruro magnésico, se observa que en la parte alta del yacimiento debió volver a precipitar algo de silvinita, pero ya mezclada con carnalita y sal común.

Como todas las aguas que alimentaban el lago, aun las escasas que vertieron durante el último período de la desecación del mismo, estaban muy cargadas de sal común, se comprende la abundancia de esta sal en todos los horizontes del criadero.

Se pueden explicar las alternancias muchas veces repetidas de sal gema, yeso, anhidrita, arcillas, margas, etc. por las variaciones de régimen en las aguas que alimentan el lago. Aportaciones mayores de agua en el lago arrastraron lodos y arenas, que los depositaron del borde al centro por orden de tamaños y esto puede traer consigo disoluciones de las sales del borde y mayores precipitaciones en el centro. Puede suceder que una vez depositados los lodos, las aguas vuelvan a perder grados Beaumé, y entonces se retrotraiga el proceso de precipitación a un período anterior, y así se explica que sobre un banco de potasa se encuentre uno de sal o de anhidrita.

Pero la explicación racional de estos cambios en el régimen de las aguas alimentadoras del lago está en las variaciones de clima y esta es la opinión de Mr. Degoutin en sus estudios sobre el lago de Assal. Este ingeniero señala ejemplos de grandes variaciones de clima en una localidad determinada en la época actual, y fundándose en ellos deduce que debieron existir muchos y muy grandes durante el largo transecurso de la formación de un criadero salino de la importancia del de Alsacia y por consiguiente del de Cataluña.

Es indudable, según se deduce de la existencia de fósiles vegetales de hoja caduca hallados encima del yaci-

miento, que ya existían en aquellas épocas las estaciones y sólo en la variación de clima que esto representa se puede explicar la formación de ciertos pequeñísimos depósitos de materias no salinas.

Conservación del criadero.—Para que el criadero haya podido conservarse a través de los siglos se ha hecho preciso que encima de los depósitos salinos se formaran unos lechos impermeables que resguardaran las sales de las aguas exteriores, impidiendo su disolución. En España, los bancos encima del criadero potásico están constituidos por unos lechos de margas alternantes con sal común, y encima de estos lechos aparece el gran tramo de margas, areniscas, yesos, etc. No se ven, por tanto, en los criaderos españoles esos depósitos de origen eólico que caracterizan a los criaderos alemanes.

Vistas al microscopio las margas que cubren el yacimiento catalán, aparecen formadas por elementos arcillosos redondeados, por algunos cristales calizos y otros alargados de sulfato de cal. Parecen, en su mayoría, materiales aportados por aguas mezclados con algunos depósitos de carbonato de cal. Es indudable que después de la época en que se depositaron los yacimientos salinos y en que debía reinar sobre aquella comarca un clima tropical y desértico, debía suceder otra de clima benigno, aunque caluroso y lluvioso, como lo acredita la exuberante vegetación que debía cubrir la tierra y cuya existencia ha quedado testimoniada por las capas de lignito de Sampedor, Calaf, etc.

...Pero este paso de un clima a otro no debió ocurrir de un modo brusco, sino que entre los dos hubo un período de transición, en el que debió haber épocas en que la evaporación era activa, y otras en que las aguas

arrastrando lodos, arenas, etc. eran abundantes. Así se explican primero esas capas de sal y arriba las de yeso que alternan con margas y que representan oscilaciones en la concentración de las aguas. Sin embargo, conviene hacer observar, para no dar excesiva importancia al fenómeno, que la mayor parte de los yesos que cubren a los criaderos salinos y que como hemos visto, forman un tramo de importancia, deben tener origen metamórfico.

Al entrar ese clima en bonanza, la vida se hizo posible y aparecen los primeros fósiles lacustres como a unos 50 a 60 metros encima del criadero y después más arriba la cantidad aumenta y aparece abundante y muy característico, conjuntamente con *Melantias*, *Planorbis*, *Limnæas* y *Melanopsis*, el *Melanoides albigensis*.

Grandes trastornos geológicos producen movimientos orogénicos y los materiales producidos en ellos son arrastrados por las aguas, los más grandes depositados cerca de la orilla, y los más finos son arrastrados hasta el centro, y así se puede ver que en los bordes Norte y Sur de la mancha oligocena, o sea en las zonas inmediatas a la Cordillera del Litoral y a la Pirenaica se han depositado esos grandes bancos de conglomerados que forman sierras tan pintorescas, así como caminando sobre uno de estos bancos hacia el centro del lago se los ve transformarse poco a poco en arenisca.

Encima de la formación de este tramo de areniscas, margas y conglomerados, se encuentran las capas de lignito, y los fósiles hallados en Tárrega indican una fauna vertebrada de mucho interés, que vivía en los bosques, junto a los lagos. Así, pues, sobre el yacimiento salino se formaron los demás bancos oligocenos cuya serie hoy se puede examinar en diferentes sitios de la cuenca, a consecuencia de los pliegues y dislocaciones que sobre-

vinieron después de su formación y que han traído como consecuencia la aproximación de las capas salinas a la superficie y en algún sitio, como en Cardona, hacerlas aflorar.

Hoy en la Montaña Roja no sólo se ven grandes cantidades de sal común, sino también vetas y nódulos importantes de sales potásicas. Es interesante hacer resaltar el gran número de toneladas de sal potásica que debe haber ido a verterse al Cardoner a través de los siglos, y, sin embargo, aún se conservan en la superficie grandes cantidades de ella.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía especial de la Cuenca Potásica Española

- 1786, Comes (J.)—Memoria sobre las salinas de Cardona «Discurso leído en la sesión del 20 de diciembre en la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.»
- 1787, Comes (J.)—Disertación sobre el modo cómo se produce la sal en la montaña de Cardona. «Discurso leído en la sesión del 17 de diciembre en la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona.»
- 1817, Cordier.—Mémoire sur les mines de sel gemme de Cardona. «Ann. des Mines», t. II, página 179, et «Journ. de Physique», volumen LXXXII, página 343.
- 1830, Dufrénoy.—Sur les mines de sel de Cardone. «Bulletin de la Soc. Géol. de France»; 1.^a serie, t. I, página 99
- 1831, Dufrénoy.—Notices sur les mines de sel de Cardone.
- 1902, Martel.—Montagne de sel et grottes de Cardone. «Nature», núm. 1.512. 17 de mayo de 1902.
- 1903, Vidal (L. M.)—Compte-rendu de l'excursion du 30 septembre au gisement de sel de Cardona. Criadero de sal de Cardona. Ext. du «Bull. de la Soc. Géol. de France», 3.^a serie, t. XXVI, págs. 725, 728, 1898. Reproducido en el «Bol. de la Com. del Map. Geol. de España», t. XXVII, pág. 149.

- 1909, Kaiser (E.)—Das Steinsalzvorkommen von Cardona in Katalonien. «Neues Jahrbuch für Min. Geol.», u. Pal. I.
- 1914, Rubio (C.) y Marín (A.)—Sales potásicas en Cataluña. «Bol. Ins. Geol. de España», vol. 34, págs. 1730, 230. Madrid.
- 1914, Folch y Girona (J.)—Les sales potásiques de Suria. «Bull. de l'Inst. Cat. d'Hist. Nat.», 2.^a ép., vol. XII (XV), núm. 8, pág. 148.
- 1914, Harbort (E.)—Diskussion zu dem Vortrag des Herrn Schmidt, «Basel. Zeitschr. d. Deutch. Geol. Ges.», Bd. 66, Monasther, núm. 7.
- 1914, Vidal (L. M.)—Cuatro palabras sobre las salinas de Cardona y su edad geológica. «Bol. R. S. Esp. de Hist. Nat.» Julio, Madrid.
- 1917, Born (A.)—Zur geologie der Spanischen Kalisalzlagern taetten. «Zeitschr. f prakt. Geologie». XXV Jahrb, p. 159, 163.
- 1918, Gutzwiller (O.)—Les sales potásiques a Catalunya. «Economía i Finances», núm. 10, 25 mayo, Barcelona.
- 1918, Rubio (C.) y Marín (A.)—Sales potásicas de Cataluña. «Bol. Ins. Geol. de Esp.», vol. 39, pág. 138, Madrid.
- 1919, Born (A.)—Das Ebrobecken. Eine Skizze seiner Entstehung und seines geologischen Aufbaues. «Neus Jahrb. fur Mineralogie, etc.» Beilage-Band XLII, páginas 610, 727. Tafel IX-XII.
- 1920, Hoyt S. S. Gale.—Potash Deposits in Spain. U. S. A. «Geol. Surv. Bull.», 715.
- 1921, Levaiville (J.)—Les gisements de potasse en Catalogne. «Ann. Geographie», tomo XXX, págs. 396, 399.
- 1922, Marín (A.)—Los yacimientos potásicos de Cataluña. «Conferencia en el Ateneo de Madrid.»
- 1922, Schmidt.—Mitteilung uber die Kali salz lagerstätten

- in Katalonien. «Sonderabdruck aus Eclogae geologicae Helvetiae», vol. XVII, núm. 3.
- 1923, Menéndez Puget (E.)—Trabajos e investigaciones de laboratorio referentes a las sales potásicas de Cataluña. «Bol. Ins. Geol. España», tomo XLIV, 3.^a serie. Madrid.
- 1923, Larragán (A. de) —Datos acerca de los sondeos realizados en la cuenca potásica de Cataluña. «Bol. Ins. Geol. de España», t. XLIV, 3.^a serie. Madrid.
- 1923, Marín (A.)—Nuevas investigaciones en la cuenca potásica de Cataluña. «Bol. Inst. Geol. de Esp.», t. XLIV, 3.^a serie. Madrid.
- 1924, Dollfus.—Comunicación sobre el libro «Investigaciones en la cuenca potásica de Cataluña», en la sesión del 23 de junio de 1924 en la Sociedad Geológica de Francia.
- 1924, Marín (A.) y Gómez Lluca (F.)—Sobre un sondeo en Puigreig (Barcelona). «Bol. de la R. Soc. Esp. de Hist. Nat.», tomo XXIV. Madrid.

Bibliografía de geología de Cataluña, relacionada con los estudios de este libro

- 1781, Palassou.—Essai sur la mineralogie des Monts Pyrénées. Paris.
- 1801, Ramond (L.)—Voyage au Mont-Perdu et dans la partie adjacente des Hautes-Pyrénées. Paris-Berlin.
- 1803, Ramond (L.)—Voyage au sommet du Mont-Perdu. Paris.
- 1813, Dralet.—Description des Pyrénées. Paris.
- 1815, Palassou.—Memoires pour servir à l'histoire natu-

- relle des Pyrénées et des pays adjacents.
- 1823, Charpentier (De).—Essai sur la constitution géognostique des Pyrénées, Paris.
- 1828, Arbanère.—Tableau des Pyrénées françaises. Paris.
- 1831, Dufrénoy.—Age des ophites des Pyrénées, «Bull. de de la Soc. Géol. de France», t. II.
- 1836, Coquand.—Note sur la constitution géognostique des Pyrénées «Bull. Soc. Géol. de France, I serie, tomo IX.
- 1844, Durocher.—Essai pour servir a la classification du terrain de transition des Pyrénées et observations diverses sur cette chaîne de montagnes.
- 1845, Maestre (A.).—Descripción geognóstica del distrito de Aragón y Cataluña «Anales de Minas», Vol. III, Madrid.
- 1848, Ezquerria del Bayo.—Notas en el Boletín de Fomento, t. I, Madrid.
- 1850, Karsten.—Ueber tertiarschisten und kreide in Cumaná und bei Barcelona. «Zeits. Gessell», t. II.
- 1852, Verneuil et Collomb.—Coup d'œil sur la constitution géologique de quelques provinces d'Espagne, «Bull. Soc. Géol. de France, 2.^a serie», t. X.
- 1857, Vezian.—Observations sur le terrain nummulitique de la province de Barcelone. «Bull. Soc. Géol. France», 2.^a serie, tomo XIV, Paris.
- 1858, Joanne (A.).—Itinéraire descriptif et historique des Pyrénées, de l'Océan à la Méditerranée.
- 1860, Leymerie.—Recit d'une excursion géologique dans la vallée de la Ségre. «Bull. Soc. Géol. de France», 2.^a serie, tomo XXVI.
- 1861, Verneuil (De) y Keyserling.—Coupes du versant méridional des Pyrénées. «Bull. de la Soc. Géol. de France», serie 2.^a, vol. XVIII.

- 1865, Nogués (A. F.).—Ophites des Pyrénées.—Foll. de 138 págs.—Ext. des «Ann. de la Soc. Imp. d'Agri., d'Hist. Nat. et des Arts utiles de Lyon».
- 1866, Vezian.—Mollusques et zoophytes des terrains nummulitique et tertiaire marin de la province de Barcelone.
- 1867, Zirkel.—Beitrag zur geologischen kenntnis der Pyrenäen. Berlin.
- 1869, Leymerie (A.).—Nouvelles observations sur la non existence de la houille dans les Pyrénées françaises entre les gites extrêmes de la Rhune et des Corbières.
- 1869, Leymerie (A.).—Recit d'une explication géologique de la vallée de la Ségre.
- 1870, Leymerie (A.).—Explication d'une coupe transversale des Pyrénées françaises passant par Luchon et Montréjeau, comprenant le massif de la Maladeta, avec projection du versant gauche des vallées de la Pique et de la Garonne.—Ext. du «Bull. de la Soc. Géol. de France». 2.^a serie, t. XXVII.
- 1871, Vidal (L. M.).—Excursión geológica por el Norte de Berga. «Revista Minera», t. XXII. Madrid.
- 1872, Leymerie (A.).—Résumé d'une explication de la carte géologique du département de la Haute-Garonne. «Ext. du Bull. de la Soc. Géol. de France», 2.^a serie, tomo XXIX.
- 1872, Garrigou (F.).—Monographie de Bagnères de Luchon. Paris.
- 1873, Garrigou (F.).—Résumé géologique accompagnant la Carte géologique de l'Ariège, de l'Haute-Garonne, de la partie Ouest de l'Aude et la partie Est des Hautes Pyrénées. «Bull. de la Soc. Géol. de France», 3.^a serie.
- 1874, Magnan (H.).—Matériaux pour une étude stratigra-

- phique des Pyrénées et des Corbières. «Mem. de la Société Géol. de France», 2.^a serie, t. X.
- 1874, Magnan (H.)—Remarque sur la formation des montagnes Pyrénées et Corbésiennes, et notamment sur l'importance des failles et des érosions.
- 1874, Vidal (L. M.).—Datos para el conocimiento del terreno garumnense de Cataluña. «Bol. de la Com. Mapa Geol. de España», t. I.
- 1875, Vidal (L. M.).—Geología de la provincia de Lérida. «Bol. Com. Map. Geol. de España». t. XI. Madrid.
- 1875, Mallada (L.).—Sinopsis de las especies fósiles que se han encontrado en España. «Bol. Com. Mapa Geológico de España».
- 1875, Leymerie (A.)—Note sur le Garumnien espagnol. «Ext. du Bull. de la Soc. Géol. de France», 3.^a serie, tomo III.
- 1875, Leymerie (A.)—Note sur l'étage dévonien dans les Pyrénées.
- 1876, Bauzá (F.)—Breve reseña geológica de las provincias de Tarragona y Lérida. «Bol. de la Com. del Mapa Geológico de España».
- 1878, Márquez Pérez de Aguiar (Manuel).—Memoria acerca del Valle de Arán (provincia de Lérida).
- 1878, Vidal (L. M.)—Nota acerca del sistema cretáceo de los Pirineos de Cataluña, «Bol. Map. Geol. de España» tomo IV.
- 1879, Barrois.—El mármol griotte de los Pirineos. «Boletín de la Com. del Map. Geol. de España», t. VIII.
- 1880, Carez.—Quelques mots sur le terrain crétacé du Nord de l'Espagne.—Ext. du «Bull. de la Soc. Géol. de France», 3.^a serie, tomo IX.
- 1881, Carez (L.)—Études des terrains crétacés et tertiaires du Nord de l'Espagne. —Thèse présentée a la Fa-

- culté des Sciences de Paris pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Naturelles.
- 1881, Leymerie (A.)—Description géologique et paléontologique des Pyrénées de la Haute-Garonne.—Toulouse.
- 1881, Corsini.—Sobre los hundimientos ocurridos en Puigcerçós.—«Crónica científica», tomo IV, número 89.
- 1881, Cortázar.—El hundimiento de Puigcerçós en 13 de enero de 1881.
- 1881, Vidal (L. M.)—Nota acerca de los hundimientos ocurridos en la cuenca del Tremp (Lérida) en enero de 1881.—«Bol. de la Com. del Map. Geol. de España», tomo VIII.
- 1881, Vidal (L. M.)—Complemento a la nota sobre los hundimientos en la cuenca del Tremp.—«Bol. de la Com. del Map. Geol. de España», tomo VIII.
- 1881, Mallada (L.)—Descripción física y geológica de la provincia de Huesca, con un mapa geológico 1:400.000.
- 1881, Maureta y Thos.—Descripción física, geológica y minera de Barcelona.—«Mem. Com. Map. Geol.»
- 1882, Dieulafait.—Étude sur les ophites des Pyrénées.—«Ann. de la Soc. Géol.», tomo XVI.
- 1882, Vidal (L. M.)—Yacimiento de la Aerinita.—Ext. del «Bol. de la Com. del Map. Geol. de España», tomo IX. Madrid.
- 1882, Penck (A.)—La période glaciaire dans les Pyrénées.—«Bull. de la Soc. de Hist. Nat.» tomo XIX. Toulouse.
- 1883, Vidal (L. M.)—Edad de las capas de *Bulimus gerundensis*.—«Bol. Real Acad. Ciencias y Artes», Barcelona.
- 1885, Deperet y Rerolle.—Note sur la géologie et sur les mammifères du bassin lacustre supérieur de la Cer-

- dagne.
- 1885, Thos (S.)—Reconocimiento físico-geológico-minero de los Valles de Andorra. Barcelona.
- 1885, Caralp (J.)—Recherches géologiques sur la zone frontière des Pyrénées orientales, du Perthus a la Méditerranée.
- 1886, Zeilier. —Note sur des empreintes houillères recueillies par M. Gourdon dans les Pyrénées centrales. »Bull. de la Soc. Géol. de France.»
- 1886, Vidal. — Reseña geológica y minera de la provincia de Gerona «Bol. Com. Map. Geol. de España» t. XIII.
- 1887, Caralp (J.)—Recherches géologiques sur la structure de la Vallée d'Aran et des pays adjacents, «Bulletin de la Soc. d'Hist. Nat. de Toulouse.»
- 1887, Schrader (F.)—Note sur la disposition des terrains primitifs des Pyrénées.—Ext. de «l'Ann. du Cl. Alp. Français.»
- 1887, Lartet (L.)—Terrain carbonifère des Pyrénées centrales.
- 1887, Stuart-Menteth.—Sur la constitution géologique des Pyrénées.—«Bull. de la Soc. Géol. de France», 3.^a serie, tomo XVI, páginas 22-52.
- 1887, Jacquot (E.)—Sur la constitution générale des Pyrénées; le système cambrien.—«Compte rendu. Acad. Sciences». Paris.
- 1888, Almera (J.), Bofill (A.)—Algunos datos geológicos sobre los Pirineos orientales.—«Crónica científica», tomo XI.
- 1888, Hebert.—Le terrain crétaé des Pyrénées.—«Bull. de la Soc. Géol. de France», 2.^a serie, vol. IX y 3.^a serie, vol. XVI.
- 1888, Caralp (J.)—Etudes géologiques sur les hauts massifs des Pyrénées centrales.

- 1888, Gourdon (M.)—Contributions à la géologie des Pyrénées centrales. «Bull. de la Soc. Ramond». Bagnères.
- 1888, Roussel (J.)—Sur l'âge des calcaires cristallins des Pyrénées.—«Bull. de la Soc. Géol. de France», 3.^a serie.
- 1888, Roussel (J.)—Nouvelles observations sur les terrains primaires et les terrains secondaires des Pyrénées.—«Bull. de la Soc. Géol. de France.»
- 1891, Vidal (L. M.)—Nota sobre la presencia de la formación lacustre de Rilly en el Pirineo catalán.—«Mem. Real Acad. Ciencias y Artes de Barcelona».
- 1891, Schrader et De Margerie.—Aperçu de la structure géologique des Pyrénées.—«Ann. du Cl. Alp. Français», vol. XIX.
- 1891, Mallada (L.)—Catálogo general de las especies fósiles encontradas en España. «Com. Mapa Géol. de España», tomo XVII.
- 1892, Chevalier (M.)—Coup d'œil sur la constitution géologique des Pyrénées. Paris.
- 1892, Collot (L.)—Coup d'œil sur la constitution géologique des Pyrénées, «Revue bourguignonne de l'Enseignement».
- 1893, Roussel (J.)—Etude stratigraphique des Pyrénées. Thèses présentées a la «Faculté des Sciences de Lille» pour obtenir la grade de Docteur ès Sciences Naturelles. Paris.
- 1893 Paillete (A.)—Etude stratigraphique des Pyrénées. Thèses présentées à la «Faculté de Sciences Naturelles». Paris.
- 1894, Vidal (L. M.)—Caves préhistoriques de Lleyda «Bulletin del Cent. Exc. de Cat.», año IV, núm. 13.
- 1894, Belloc (E.)—Nouvelles recherches lacustres faites au port de Venasque dans la Haute-Catalogne. (Pirineos centrales) «Compt. Rendu. Assoc. Franç. Avaç.

- Le 1893.
- 1895, Mallada (L.)—Explicación del Mapa Geológico de España «Mem. Com. Map. Geol. España», Madrid.
- 1895, Lacroix (A.)—Les phénomènes de contact de la lherzolite et de quelques ophites des Pyrénées. Paris.
- 1895-97, Douvillé (H.)—Etude sur les rudistes. Distribution regionale des Hippurites. «Memoires de Paleontologie. «Soc. Géol. de France». Tomo V y VII. Paris.
- 1896 Palet y Barba.—Estudio del terreno plioceno de Tarrasa y sus relaciones con las formaciones contiguas. Barcelona.
1896. Stuarth Menteath. (P. W.)—El secreto de los Pirineos, «Revista Minera», tomo 47.
- 1896, Stuarth Menteath. (P. W.)—Sur les cols des roches ignées dans les Pyrénées, «Bull. Soc. Géol. de France» 3.^a serie; tomo XXVIII.
- 1898, Lacroix (A.)—Le granit des Pyrénées et ses phénomènes de contacte. Paris.
- 1898, Bofil y Poch.—Acerca del triás con Ceratites y del eoceno inferior de la estación del ferrocarril de Olesa, provincia de Barcelona, «Bull. de la Soc. Géologique de France», 3.^a serie tomo XXVI.
- 1898, Paillette (A.)—Sur la tectonique des Pyrénées.
- 1898, Puig y Larraz (G. M.)—Hipuritos de Cataluña. Compendio de los trabajos de Douvillé acerca de los rudistas. «Bol. de la Com. del Map. Geol. de España», tomo XXIII.
- 1899, Dollfus (G. F.)—Relation entre la géologie et l'hydrographie en Catalogne, «Bull. Soc. Géol. de France» 3.^a serie tomo XXVI.
1899. Schlumberger (M. C.)—Note sur quelques foraminifères nouveaux ou peu connus du cretacé d'Espagne «Bulletin Soc. Géol. de France». 3.^a serie, t. XXVII.

- 1900, Vidal (L. M.)—La tectónica y los ríos principales de Cataluña. «Mem. de la R. Aca. de C. y Ar. de Barcelona», Vol. II, Núm. XXVI.
- 1901, Barrois (Ch.)—Note sur les graptolites de la Catalogne, et leurs relations avec les étages graptolitiques de France. «Bull. Soc. Géol. de France», 4.^a serie, t. I, págs. 637, 646.
- 1902, Lambert (J.)—Description des echinides fossiles de la province de Barcelone. «Mem. Soc. Géol. de France». Paléontologie, num. 24. Paris.
- 1902, Font y Sagué (N.)—Nota sobre el carbonífero del Valle de Camprodón (Pirineos catalanes).
Nota sobre el silúrico superior del valle de Camprodón (Pirineos catalanes).
Nota sobre la constitución geológica del Valle de Camprodón.
Rocas eruptivas de Camprodón.
- 1902, Zeiller (R.)—Sobre algunas impresiones vegetales del Kimeridgense de Santa María de Meyá, provincia de Lérida. «Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona». 3.^a época, vol. IV, núm. 26.
- 1902, Vidal (L. M.)—Sobre la presencia del tramo kimeridgense en el Montsech, y hallazgo de un batracio en sus hiladas. «Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona». 3.^a época, vol IV, núm. 18.
- 1902, Meunier (F.)—Una nueva cicada del kimeridgense en el Montsech, provincia de Lérida (Cataluña). «Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona», época 3.^a, vol. IV, núm. 18.
- 1903, Carez (L.)—Géologie des Pyrénées françaises. Mémoire Serv. Cart. Géol. de France». 1903-1909.
- 1903, Almera (J.)—Compte rendu de l'excursion du samedi 1.^o Octobre a Montcada et a Sardanyola. «Bull. de

- la Soc. Géol. de France», t. XXVI. Reproducido en el «Bol. de la Com. del Map. Geol. de Esp.», t. XXVII.
- 1903, Almera, Bofill, Vidal, Dollfus, Stuart-Menteath, y otros.—Excursiones de la Sociedad Geológica de Francia.—«Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España,» tomo XXVII.
- 1903, Thevenin (M. A.)—Les échantillons-types de la monographie des nummulites de D'Archiac. Liste de leurs provenances. «Bull. de la Soc. Géol. de France», 4.^a serie, t. III.
- 1903, Deperet (C.)—Ojeada acerca de la faja numulítica que rodea el macizo de Barcelona y estudio de la fauna oligocena de Calaf. «Bol. de la Com. del Map. Geológico de Esp.» t. XXVII.
- 1903, Meunier (F.)—Nuevas contribuciones a la fauna de los himenópteros fósiles. «Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona», época 3.^a, vol. IV, núm. 34.
- 1903, Sauvage (H. E.)—Noticias sobre los peces de la caliza litográfica de la provincia de Lérida (Cataluña). «Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona», época 3.^a, vol. IV, núm. 35.
- 1903, Roussel.—Sur les carbonifères des Pyrénées. «Bulletin de la Soc. Géol. de France», serie 4.^a, vol. III.
- 1904, Sapper (K.)—Die catalonischen Vulcane. «Zeitsch. d. Deutsch geol. Gesell.» B. 56. Berlin.
- 1904, Roussel (J.)—Tableau stratigraphique des Pyrénées. «Bull. de la Cart. Géol. de France», núm. 97, t. XV.
- 1904, Font y Sagué.—Lo Vallés. Circunstancias naturales e históricas que determinen aquesta comarca. «Bulletin del Cent. de Exc. de Cat.», t. XIV.
- 1905, Sauvage (H. E.)—Note sur un spirangiun du calcaire lithographique de la province de Lérida (Cata-

- logne).
- 1905, Font y Sagué (N.)—Curs de geología dinámica i estratigráfica aplicada a Catalunya, Barcelona.
- 1906, Almera (Jaime).—Descripción y génesis de la Plana de Vich. «Memorias de la Real Academia de Ciencias de Barcelona», 3.^a época, vol. V, núm. 20.
- 1906, Ballaró y Casas (J.) y Serra Vilaró (J.)—Historia de Cardona.
- 1906, Deperet y Vidal.—Sur le bassin oligocène de l'Ebre et l'histoire tertiaire de l'Espagne. «Int. de France. Ac. des Scien. Ext. des Compt. rend. des Sèan. de l'Ac. des Sc.» t. CXLII.
- 1906, Fliche.—Nota sobre algunos vegetales terciarios de Cataluña. «Bol. de la Com. del Map. Geol. de España», t. XXVIII. Madrid. Reproducido en el «Bull. de Inst. Cat. d'Hist. Nat.»
- 1906, Vidal y Deperet.—Contribución al estudio del oligoceno en Cataluña, con una traducción francesa. «Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona», época 3.^a, vol. V, núm. 19, pág. 17.
- 1906, Soler (J.).—La Vall d'Aran. —Guía monográfica de la comarca.—Manual de 400 páginas, 135 fotografías, 2 panoramas y 2 mapas.
- 1906, Bertrand (L.).—Contribution a l'histoire stratigraphique et tectonique des Pyrénées orientales et centrales. «Bull. des services de la Carte Géol. de la France», num. 118, t. XVII.
- 1907, Mengel (O.).—Feuilles de Prades et de Céret (région frontière des Pyrénées orientales).
- 1908, Faura y Sans (M.).—Crustacis fosiles de Catalunya. «Bull. Institutio Catalana d'H. Nat.», tomo VIII.
- 1908, Fliche.—Nouvelle note sur quelques végétaux fosiles de la Catalogne. «Bull. de l'Inst. Cat. d'Histoire

- Nat.», 2.^a ep., t. V, núm. 7.
- 1908, Vidal (L. M.)—Geografía física de Cataluña.—Geografía general de Cataluña. Barcelona.
- 1908, Mengel (O.)—Aperçu sur la Tectonique et la sismicité des pays Catalans. «Comp. Rend. de l'Ann. Fr. pour l'Av. des Sc».
- 1908, Mengel (O.)—Huit coupes générales de la feuille des Prades; in Carez: La Géologie des Pyrénées françaises. T. V. Presentada en la «Société Géologique de France» el 7 de diciembre de 1908.
- 1909, Félix (J.)—Über eine untertertiäre Korallenfauna aus der von Barcelona. «Paleontographia». Stuttgart.
- 1909, Carez (L.)—Resumé de la géologie des Pyrénées françaises. «Memoires de géologie. Soc. Géol. de France». Paris.
- 1909, Mengel (O.)—Sur l'âge des calcaires primaires des Pyrénées orientales.
- 1909, Faura (M.)—Graptolitos citados en Cataluña. «Mem. de la Real Soc. Esp. de Hist. Nat.», tomo VI.
- 1909, Mengel (O.)—Monographie des "Terratremols" de la región Catalana. «B. S. Ramond», 3^a serie, t. IV.
- 1909, Vidal (L. M.)—Nota sobre un fósil del tramo Kimmeridgenense del Monsech (Lérida). «Bol. de la Soc. Española de Hist. Nat.», t. IX.
- 1910, Oppenheim (P.)—Bemerkungen zu Prof. Johannes Felix: "Über eine untertertiäre Korallenfauna aus der Gegend von Barcelona", «Sonder-Abdruck aus dem Monatsberichten der Deutschen Gesellschaft». Dd. 62. Jahrb. núm. 2.
- 1910 Mengel (O.)—Stratigraphie et Tectonique de l'ilot primaire de La Guardia, entre le Ségre et la Noguera Pallaresa. «Comp. Rend. de la Ac. des Soc.» tomo CXLI.

- 1910 Dalloni (M.)—Etude géologique des Pyrénées de l'Aragón. Marsella.
1910. Dalloni (M.)—Esquisse de l'histoire géologique des Pyrénées centrales (Congrès de Toulouse) «Assoc. Franç. pour l'avenc. des Sciences.
- 1911, Bertrand (L.)—Carte géologique détaillée; feuille de Bagnères de Luchon, num. 252. Explication.
- 1911, Mengel (O.)—Sur le Permien et le Trias catalan. «Compte rendu. Soc. Géol. France».
- 1912, Elias (J.)—Assaig de geogenia de Tarrassa y sos contorns. Tarrasa.
- 1912, Faura y Sans.—El sofre nadiu a Catalunya.—«Inst. Catalana d'Hist. Nat».
- 1912, Folch y Girona (J.)—Notes géologiques. La Analasa a Catalunya. —«Butll. de l'Inst. Cat. d'Hist. Nat.», 2.^a época, vol. IX (XII), n. 9.
- 1912, Faura y Sans (M.)—Sobre dos nuevos yacimientos ordovicenses en los bajos Pirineos.
- 1913, Faura y Sans (M.)—Síntesis estratigráfica de los terrenos primarios de Cataluña con una descripción de los yacimientos fosilíferos más principales.—«Memoria doctoral de la Real Soc. Esp. de H. Natural», tomo IX, núm. I.
- 1913, Jacop (Ch.) et Fallot (P.)—La nappe de charriage du Montsech (Catalogne).
- 1913 Dalloni.—Stratigraphie et tectonique de la region des Nogueras (Pyrénées centrales).—«Bull. de la Soc. Géol. de France» 4^{ème} série 7 XIII.
- 1913, Dralet.—Description des Pyrénées, Paris.
- 1914, Chevalier (M.)—Note préliminaire sur la géologie de la Catalogne orientale. «Bull. Soc. Géol. de France», t. XIV, pág. 157.
- 1914, Dalloni (M.)—Sur la tectonique des Pyrénées et la

- prétendue nappe du Montsech.—«Compt. Rend. des Séan. de l'Ac. des Sc.», tomo CLVIII.
- 1914, Darder (B.)—Nota bibliográfica. Jacop (Ch.), et Fallot (P.)—La nappe de Charriage de Montsech, en Catalogne. «Bol. de la Real Soc. Esp. de Hist. Nat.», t. XIV.
- 1914, Gómez de Llarena (J.)—Nota bibliográfica. Dalloni (M.)—Sur la tectonique des Pyrénées catalanes et la prétendue nappe du Montsech. «Bol. de la Real Sociedad Esp. de Hist. Nat.».
- 1915, Elías (J.)—Breus consideracions sobre la formació geologica del Montserrat. Terrassa, 1920.
- 1915, Chevalier (M.)—Note sur les terrains néogènes de la Cerdagne.
- 1916, Vidal (L. M.)—La faz de la tierra en Cataluña durante varias épocas geológicas. «Mem. R. Acad. de Ciencias y Art. de Barcelona», vol. XIII.
- 1916, Faura y Sans (M.)—Sobre hidrología subterránea en los Pirineos centrales de Aragón y Cataluña. Madrid
- 1916, Fontesère (E.)—Sobre un centro de actividad sísmica en el Alto Esera. «Mem. de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona. «Ibérica», vol. XL.
- 1917, Vidal (L. M.)—Nota paleontológica sobre el cretáceo de Cataluña. Asociación Española para el progreso de las Ciencias. Congreso de Sevilla.
- 1917, Faura y Sans (M.)—Caracterización del Dinantiense (Culm) inferior entre los picos del Paderna y Maladeta: Montes Malditos (Pirineos centrales del Alto Aragón).
- 1918, Vidal (L. M.)—Geología del Montsech. «Ibérica», volumen IX, núm. 218.
- 1918, San Miguel (M.)—El volcanismo en España. Extracto de una conferencia. «Bol. de la R. Ac. de Ciencias

- y Artes de Barcelona».
- 1919, Faura y Sans.—Condiciones estructurales del terreno en la caracterización de les comarques catalanes. «Extr. del Bull. del Cen. Exc. de Cat.»
- 1920.—Vidal (L. M.)—Nota sobre tres especies nuevas y dos poco conocidas del eocénico del Pirineo catalán. «Bull. Institutió Catalana de Hist. Nat.», vol. XX.
- 1921, Vidal (L. M.)—Segunda nota paleontológica sobre el cretáceo de Cataluña. «Bull. Institutió Catalana de Hist. Nat.», vol. XXI.
- 1921, Vidal (L. M.)—Contribución a la paleontología del cretáceo de Cataluña. «Mem. Real Acad. de C. y Artes de Barcelona», vol. XVII.
- 1922, Vidal (L. M.)—¿Es terciario o cretácico el Bullimus gerundensis? «Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.», vol. XXII.
- 1922, Romero Ortiz de Villacian.—Estudio de la cuenca lignífera del Ebro y Segre (Zaragoza).—«Boletín Oficial de Minas y Metalurgia.» Marzo y Abril.
- 1923, Faura y Sans (M.), Viñals (M.) y Palet y Barbada (D.)—Dictamen sobre abastecimiento de aguas potables para la ciudad de Tarrasa.
- 1923, Faura y Sans.—Mapa geológico de España. Enciclopedia Espasa.
- 1923, Santaló (M.)—El Gironés (Gerona).
- 1924, Astre (G.)—Sur les unités tectoniques des sierras de Cadi, de Port del Compte et de quelques massifs voisins. «C. R. Acad. des Sciences», t. CLXXVIII, pág. 2.106. París.
- 1924, Gimeno Conchillos (A.)—Estudio de los criaderos de sosa de Aragón.
- 1924, Chevalier (M.)—Contribution a l'Etude des Pyrénées. Essai sur la tectonique et l'architecture naturelle des vallées du Valira et du Haut Ségre.

- 1924, Chevalier (M.)—Contribution a l'Etude des Pyrénées. Note sur les terrains néogènes des vallées du Valira.
- 1925, Moret (L.)—Sur quelques spongiaires de Catalogne. (Saquanien. Senonien. Eocène). Barcelona.
- 1925, Astro (G.)—Sur les limites de la zone tectonique de Pedraforca. «C. R. Soc. Géol. de France», núm. 5, página 63. Paris.
- 1925, Astro (G.)—Sur les caractères d'ensemble de la zone tectonique de Pedraforca. «C. R. Soc. Géol. de France», núm. 6.
- 1925, Jacob, Fallot.—A propos de la géologie du Sud des Pyrénées. «C. R. Soc. Géol. de France», núm. 6. Paris.
- 1925, Bolós (A. de).—La estació paleontológica del Pont de Ferro y algunes consideracions sobre el volcanisme olotí. «Bull. Inst. Cat. d'Hist. Nat». vol. V, 2.^a serie. Barcelona.
- 1926, Marín (A.)—Algunas notas estratigráficas de la cuenca del Ebro. Presentado a la XIV sesión del Congreso Geológico Internacional.

Mapas

- Coello.—Mapa geográfico de la provincia de Lérida.
- Bertrand (L.)—Carte géologique provisoire de la partie orientale des Pyrénées.—1907.
- Bertrand (L.)—Carte géologique détaillée, feuille de Bagnères de Luchon.—Escala 1:80.000. 1911.
- Dalloni (M.)—Carte géologique des Pyrénées de l'Aragon.—Escala 1:200.000. 1910.
- Instituto Geológico.—Mapa geológico de España.—Escala 1:400.000.
- Leymerie (A.)—Carte géologique du département de la

- Haute-Garonne.—Escala 1:200.000. 1881.
- Mallada (L.)—Mapa geológico de la provincia de Huesca.—Escala 1:400.000.
- Verneuil (E.) et Colomb (E.)—Carte géologique de l'Espagne et du Portugal.—Escala 1:1.500.000. 1.^a edición 1864. 2.^a edición 1868. Paris.
- Roussel (J.)—Carte géologique des Pyrénées.—Escala 1:320.000. 1894.
- Schrader (F.)—Pyrénées centrales.—Publicada por el «Club Alpin Français» bajo la protección del Ministerio de Instrucción Pública.
- Schrader (F.) y Margerie (E. de).—Carte géologique des Pyrénées.—Escala 1:800.000.
- Mapa Militar itinerario de España.—Escala 1:200.000. Hoja 29.
- Font y Sagué (N.)—Carta geológica de Catalunya.—Escala 1:1.300.000. Geografia de Catalunya. Barcelona.

CAPÍTULO V
INVESTIGACIÓN DE LOS
YACIMIENTOS POTÁSICOS

PRIMEROS TRABAJOS GEOLÓGICOS DE EXPLORACION

Generalidades.—A consecuencia de la extremada solubilidad de las sales potásicas, se comprende que los criaderos de esta índole deben su existencia al haber estado resguardados a través de los siglos de todo agente exterior, principalmente de las aguas, es decir, que han tenido que estar recubiertos por mantos impermeables. Por esta razón es muy difícil en el terreno percibirlos, y generalmente por hechos casuales se ha advertido su presencia.

La íntima relación que guardan las sales potásicas con las de sodio, como debidas ambas a un mismo origen, ha sido causa que en los yacimientos de las últimas se hayan buscado con interés las primeras. En España, antes del casual hallazgo de Suria, nadie se había preocupado de investigar nuestras salinas. Es más nadie había tratado de reconocer la cuenca potásica de Cataluña, que seguramente se hubiera adivinado su existencia si se hubieran analizado los manantiales de Vilanova la Aguda, Sampasalás y las aguas del arroyo que atraviesa las salinas de Cardona con anterioridad y cuyo contenido en potasa hubiera llamado la atención de los investigadores. En los

Estados Unidos y en Francia se han hecho sondeos en diversas regiones salinas en busca de la potasa, con resultado negativo. en el último de esos países, hace poco se realizaron bastante profundos en las regiones de Belfort, Chavannes, les Grands Charmois, Suarce etc. En España se han analizado manantiales y salinas después del descubrimiento de Suria, pero todavía, fuera de la región potásica de Cataluña, no se han realizado, que nosotros sepamos, otra clase de investigaciones.

Es indudable que el reconocimiento de las salinas, el análisis de los manantiales y el reconocimiento geológico del terreno, principalmente en su aspecto tectónico son las principales fuentes de observación para una primera exploración de los criaderos potásicos.

El primer elemento de juicio es el examen de las salinas, si las hay, en la zona que se quiere explorar. Preocupados por la extracción de la sal común, pudo muy bien pasar desapercibida la sal potásica como ha ocurrido durante siglos en Cardona, donde en el sitio denominado la Montaña Roja existen en la superficie cantidades grandes de silvinita. En el examen de las salinas conviene fijarse en el color de las vetas, porque la carnalita y silvinita son con frecuencia coloreadas principalmente de rojo. También resalta la sal potásica, sobre todo si es carnalita, en los criaderos de sal gema por su delicuescencia grande, apareciendo muy húmeda y desmenuzándose. Desde luego por el gusto se aprecia perfectamente la existencia de la potasa, pues conocido es su sabor picante característico.

El examen de los manantiales también puede ayudar mucho al explorador. Conviene determinar la cantidad de potasa que contienen y en la forma que se presenta. Es preciso observar con mucho cuidado el modo de aparecer el manantial; la índole de la fractura; si es debido a

una falla de carácter local o si pertenece a las que pueden existir de carácter general en la comarca. También debe examinarse muy cuidadosamente la temperatura de las aguas, que puede dar una idea del recorrido de éstas antes de salir a la superficie.

El examen geológico del terreno puede dar muy preciosas indicaciones para el estudio de una región en donde pueda haber alguna presunción de la existencia de yacimientos potásicos.

Es preciso estudiar detenidamente los diferentes terrenos geológicos de la comarca, los caracteres petrográficos y paleontológicos de los estratos, sobre todo su procedencia, si son de origen marino o lacustre, y en el primer caso si son de carácter abisal o costero, porque sabidas son las condiciones especiales que acompañan a todas las formaciones conocidas de sales potásicas. Se debe también observar muy bien todos los bordes del terreno geológico donde se pueda sospechar la existencia de la potasa, pues la forma de cuenca levantada en los bordes y marcando la depresión del primitivo lago es frecuente también hallarla.

Es muy importante el estudio de la tectónica de la cuenca y reconstituir la historia geológica de la comarca con las transgresiones y regresiones del mar, que han de dar idea de donde pudo tener lugar la formación del lago en donde las sales podían depositarse.

El examen de la fauna y flora nos indicará también algo sobre la temperatura que reinaba en los períodos geológicos y nos indicará un dato favorable o adverso para la evaporación rápida de las aguas y depósitos de las sales potásicas.

Es necesario estudiar muy bien los accidentes geológicos y fallas de la comarca por los que lleguemos al cono-

cimiento de si ha habido en el yacimiento que se sospecha el preciso aislamiento de las aguas para que aquél no haya podido ser disuelto, o si por consecuencia de esos mismos accidentes el criadero ha sufrido variaciones en su situación con relación a la superficie.

En definitiva, que es preciso hacer un estudio geológico muy detenido de la comarca al mismo tiempo que se estudien y analicen todas las manifestaciones salinas y los manantiales de la región.

A continuación hacemos un resumen de las principales salinas existentes en España, procurando, en donde lo hemos podido conseguir, dar algunos datos en relación con la substancia que ha motivado la publicación de este libro. También damos al final una relación de las fuentes mineralo-medicinales que contienen potasa.

Criaderos españoles de sal común.—En España abundan mucho los criaderos de sal común. Los más antiguos pertenecen al terreno triásico. En los Estados Unidos y Canadá hay criaderos silurianos, y en Siberia y Rusia devonianos.

Los permianos abundan mucho y a ellos corresponde el de Stassfurt, pero en España no ha lugar a la existencia de salinas en el permiano por no hallarse este terreno, o, de existir, por encontrarse en una muy reducida extensión.

Los criaderos de sal común triásicos en España abundan extraordinariamente; según el Sr. Mallada, corresponden a este terreno el 90 por 100 de las salinas conocidas. Sin embargo, en el terciario, principalmente en el mioceno, existen muchos y muy importantes criaderos de sal.

A continuación damos la relación de las principales salinas de España distribuidas por provincias.

ALAVA.—Junto a los mogotes ofíticos que atraviesan las rocas terciarias en las cercanías de la villa de Salinas de Añana existen varios manantiales salados, teniendo el agua 21° Beaumé, siendo algunos objeto de explotación.

ALBACETE.—Son muy abundantes los manantiales de agua salada en esta provincia y capaces de proporcionar grandes cantidades de cloruro sódico. Corresponden a los terrenos triásico y mioceno, no estando bien determinada la edad de todos ellos.

Los más conocidos son los de Ana Rosa, Pinilla, Villaverde, Socobos, Fuente Albilla, Balsa de Ves, Bogarra, Paterna, Bienservida, Zacatín, Aina y Sacobos.

ALICANTE.—En esta provincia existe una cuenca salina triásica interesante que, según el Sr. Ros (1), se extiende desde las sierras de Crevillente y Albaterra hasta Villena, pasando por Novelda y Monóvar y comprendiendo la salina del Pinoso. De antiguo era conocida esta última mina de sal gema, como las de sal de agua del barranco Salado de Calpe, la del Petegal de Albaterra, la de Villena, las salinas de Monóvar, las de Axa, Novelda, Muchamiel, etc.

El Sr. Ros manifiesta la posibilidad de encontrar sal de potasio en la cuenca salina a que antes hemos hecho referencia. Considera que en donde debe investigarse la sal es en las zonas media del Pinoso y Norte de Villena, sobre todo en esta última. Se han efectuado muchos análisis por el Sr. Ros, y a continuación los reproducimos.

(1) Estudio industrial de yacimientos de sales alcalinas de la provincia de Alicante. «Boletín Oficial de Minas y Metalurgia», números 26 y 27, año 1919.

MUESTRAS DE SAL GEMA DE EL PINOSO

MINAS	Cloruro de sodio por 100	Cloruro de potasio por 100	Sulfato de cal	Sulfato de magnesia	Residuo insoluble	Pérdida
Segundo Terrible	90,00	3,11	2,20	1,10	3,50	0,09
Enriqueta.....	89,55	4,42	3,49	indicios.	2,52	0,02

MUESTRAS DE AGUAS CON SALES DISUELTAS

PROCEDECENCIA	Residuo fijo por litro de agua Gramos	Cloruro de sodio	Cloruro de potasio	Sulfato de cal	Sulfato de magnesia	Residuo insoluble
Galería Mina Esperanza de El Pinoso..	320,838	284,442	12,808	7,981	12,564	3,043
Pozos de Peñalva de Villena	149,288	120,117	12,233	5,125	10,336	1,477

Los resultados de los análisis efectuados con muestras obtenidas en la sierra de las Ventanas y en el barranco de Fort, en la zona de Albaterra y Crevillente, han tenido, en lo que se refiere a la potasa, resultado negativo.

La relación entre los cloruros de potasio y sodio en las distintas zonas de la cuenca salina, es la siguiente:

REGIONES	Relación de cloruro sódico por unidad de potásico
Crevillente.....	425
El Pinoso.....	1. ^a Terrible..... 29
»	Enriqueta 20
»	Esperanza 22
Villena	9,75

La relación en el agua del mar Mediterráneo es de 31 a 1. Como se ve, los análisis del Pinoso y Villena representan, sobre todo los del último, un contenido en potasio muy superior al del agua del mar, y ha hecho pensar al señor Ros que pueden existir zonas con un enriquecimiento tan grande que pueda constituir un criadero explotable de sales potásicas.

También en la provincia de Alicante se encuentra la sal común impregnando los limos de formación reciente de la vertiente oriental de la sierra de Foncalent.

ALMERÍA.—Son poco importantes las salinas de esta provincia. Son conocidas las de la Saladilla de Vélez-Rubio y la de las ramblas Mayor, del Salar y del Campillo.

BARCELONA.—El criadero de sal gema de Cardona tiene universal renombre, pero de él y del de Suria nos hemos ocupado al hablar de la cuenca potásica de Cataluña.

Existen además en esta provincia otras salinas en Oló

y Santa María de Oló, y fuentes saladas en Broca, cerca de Llobregat, la de Santa Eulalia de Riuprimer a 3 kilómetros al Oeste de Vich y la de Gurb. Analizadas por nosotros las aguas de estas dos últimas fuentes resultó que no contenían potasa.

BURGOS.—Las minas de sal de agua de esta provincia son objeto de explotación desde hace muchos años, compitiendo con las antiguas de Herrera de la provincia de Logroño. Se explota por pozos, teniendo las aguas hasta 21 grados Beaumé. Las más importantes son las de Doña Juana, Juez y Hoyuelo en término de Poza de la Sal; las Santa Bárbara, Aumento y San Narciso de Miranda de Ebro; las Floreciente, Olvidada y Olvido de Salinillas de Bureba; la Sorpresa de Valmala; las salinas de Rosiód, situadas al Norte de este pueblo y las de Bosco que fueron del Estado.

CÁDIZ.—La salina triásica de Ortales se halla en una depresión ofítica y yesosa de la sierra Morenilla a 5 kilómetros de Prado del Rey y se halla dividida en varias propiedades. Al mioceno corresponde la salina de Medina-Sidonia. En los volcancitos fangosos de Conil se encuentra también sal.

CÓRDOBA.—En esta provincia las salinas tienen poca importancia. Son conocidas las de Santaella, Zambra, Duermas y Cabra.

CUENCA.—También en esta provincia hay importantes yacimientos de sal en el terreno triásico. El más importante de todos ellos es el famoso de Minglanilla, de sal gema, donde hay cubicados más de 76 millones de toneladas y que se presenta en capas horizontales. En general la sal es blanca, pero a veces tiene matices rojizos, amarillentos y negruzcos. Desde hace más de un siglo existe un pozo en escalera de 135 metros de profundidad, pero

próximo a él se está ejecutando otro en la actualidad. Son también importantes las salinas de Tragacete, Majadas, Salinas del Manzano, Monteagudo y Santa Cruz de Moya. Además es interesante la mina de sal de agua de Belinchón situada en el mioceno. Desde Cabriel hasta Tragacete hay cegados 148 salobresales.

GERONA.—En el eoceno se presentan varios manantiales de escaso interés en Camp de Nanol.

GRANADA.—Las más importantes son las de Loja y Malá. Existen otras en Mota, Torre Nueva, Órgiva y Bacoza.

GUADALAJARA.—En esta provincia, en todas las manchas triásicas, son muchos los manantiales salados existentes y muchos de ellos los que han sido explotados y aún son objeto de beneficio actualmente.

Los criaderos más importantes son los de Imón y Olmeda. Son todas minas de sal de agua y los pozos para extraerla tienen, en general, poca profundidad. Utilizan norias para la extracción a la superficie de los productos. Son también interesantes las salinas de Almalla, Cortadillo y San Juan de Saelices; las Abundante y La Verdad, en término de Bujalcollado; La Obligada de Olmedo, Consuelo de Valdealmendras, La Salvación de Alcuneza, La Escuadra de Cercadillo, Pascua de Mayo de El Atance, La Constancia de Rienda y La Infalible de Torre del Rafano y otras de los términos de Ocentejo, La Loma, La Riva, Armallones, Valdecubo, Romanillo y Aguilar de Anguita.

En el laboratorio de la Escuela de Ingenieros de Minas se analizaron las aguas saturadas de sal que se explotan en las salinas de Cortadillo y contenían 0,825 por mil de potasa, cantidad, en general, superior a la de las demás salinas y superior también a lo que contiene de este álcali el mar.

GUIPÚZCOA.—Esta provincia es muy rica en manantiales medicinales. También hay algunos salinos. Los más importantes son: el que nace en el valle de Leniz y el de Cegama, ambos brotando en las areniscas del cretáceo inferior y que han sido objeto de explotación.

HUESCA.—En esta provincia se ha explotado generalmente la sal de agua. Las más importantes salinas son las de Naval en donde existen dos: la de Iruela y la de Rueda junto al camino de Barbastro, la de Peralta a un kilómetro al NE. del pueblo. Las sales que dejan las aguas de esta última salina fueron analizadas por el Sr. Schmidt, dando el resultado siguiente:

Na Cl.....	92,42 %
M Cl ₂	0,32 —
Mg SO ₄	0,39 —
K Cl.....	2,42 —
Ca SO ₄	4,45 —

lo que representa una proporción alta de potasio; la salina de La Hoz donde se explota la fuente llamada Rica y la de Estopiñán o Forcada, hace mucho tiempo en explotación y situada sobre la margen derecha del río Noguera-Ribagorzana.

Hay en esta provincia también las siguientes minas de sal de agua casi todas abandonadas: en Estadilla, al Sur de Chamosa, a un kilómetro al Sur de este pueblo; en la confluencia de los barrancos Bediello y de la Pinilla; tres en Caserras, una junto al río Guart, otra en la Font del Prat y otra en la Font del Mofinet, en Secastilla a un kilómetro al SO. del pueblo en el barranco La Losa; la salinera de la fauces a dos kilómetros al Sur de Palo; dos en el barranco de la Sierra al Sur de Salinas de Trillo; a un ki-

lómetro al Oeste de puebla de Castro; salinas de Jaca, otra entre los valles de Bielsa y Gistain y el manantial salado de la Fueva al pie de la Sierra de Guara.

Una gran parte de estos criaderos corresponden al triás, pero también hay algunos indudablemente terciarios.

La salina de Peralta de la Sal, Calasanz y otros corresponden al oligoceno.

En Sariñena próximo a la provincia de Zaragoza hay muchas manifestaciones de sal. En una laguna allí existente las aguas saladas no contienen potasa, pero en cambio, un pozo próximo a la laguna contiene 0,543 gramos por litro. A tres kilómetros al NE. del pueblo de Suera, en el paraje La Huerta se ven eflorescencias de salitre y sal. En el barranco Echain y en la balsa llamada La Salitrrera, a dos kilómetros de Almudevar, hay sal y salitre.

Esta cuenca oligocena es prolongación de la de Cataluña y por tanto reviste interés su reconocimiento.

La sociedad La Minera y otras sociedades denunciaron como registros de sales potásicas grandes extensiones de terreno en esta provincia que en su mayoría han abandonado.

JAEN.—Existen abundantes criaderos de sal en esta provincia correspondientes algunos al triás y otros al mioceno. Los de mayor interés son los de Cambuill, barranco Murciano, las salinas de Laguna Honda de Alcaudete, las de Mesto y de Chillas de Hinojares, las de Don Benito en Venta Quemada, las de San José entre Martos y Torredonjimeno, las de la Orden, el Pescolar y Villargordo de Porcuna, y otros varios de Santiago e Higuera de Calatrava.

LÉRIDA.—En esta provincia están reconocidos grandes criaderos de sal gema oligocenos, de los que nos ocuparemos al hablar de la cuenca potásica de Cataluña, pero

además de éstos hay criaderos triásicos interesantes. Se pueden citar entre ellos el de Comá, Gozol, Vilanova de la Sal, Santa Liñá, Marfach, Cambrils, Gerri y Rubió. En la primera se ha realizado un pozo y un sondeo con objeto de investigar sales potásicas con éxito negativo. Otra salina interesante es la de Tragó prolongación de la de Estopiñán de Huesca.

LOGROÑO.—En el cretáceo de esta provincia se hallan las conocidas salinas de Herrera, cerca de la divisoria con Burgos y próximas a Villalba de La Rioja. Se beneficia la sal de agua por pozos. También en el cretáceo hay otro manantial salado en San Felices.

En el mioceno existen las salinas de Agoncillo, a 9 kilómetros de la estación de Alcanadre, de sal gema con proporciones variables de sulfato de sosa. También hay otras salinas en términos de Haro y Préjano.

MADRID.—En esta provincia son conocidas las salinas de Carcaballana en término de Villamanrique del Tajo que produjo antiguamente una gran cantidad de sal. También son importantes las salinas de Ciempozuelos, que también fueron objeto de explotación; las de Oreja en el Peralejo del término de Ciruelillos; las de Valdemaría del de Seseña, y las de Aranjuez.

MÁLAGA.—La más importante es la de Fuente Piedra. Ocupa una hoya de 6 kms. de largo en sentido N.S. por 3 de ancho, que constituía antes una laguna muy salada que se desaguó en 1876. Hoy se explotan los depósitos existentes que a causa de esta explotación y sobre todo por la acción de las lluvias tiende rápidamente a desaparecer.

MURCIA.—La proximidad de las salinas marinas de Torrevieja quita mucho interés a las salinas naturales de esta provincia. La más importante es la triásica de La Rosa al

E. de Jumilla y al pie de la sierra del Buey. Existen además La Principal de Jumilla, El Águila, Periego, Republicana, y otras en los términos de Sangonera, Molina, San Pedro del Pinatar, etc. Pertenecen al mioceno una situada a un kilómetro de Archena, otra excelente al N. de Calasparra en la sierra Pinosa de Caravaca y las de la Cueva de El Cuervo de Cehegín, la del Sabucar de Moratalla, etc.

NAVARRA.—En el término de Pamplona existe una mina de sal gema en Valtierra y existen en la provincia manantiales salados que han sido explotados. Los más importantes son Salinas de Oro, Aldaz, Arriuz, Cizur, Galar, Ibargoiti, Mendavia, Obanos, Olaz, Salina de Monreal, Salinas de Pamplona, Tirapu, Guendulain, Gresalde, Undiano y Larranu.

OVIEDO.—Tienen poca importancia las minas de sal de esta provincia. Se hallan situadas en el triás. Existe una en Moral en el valle de Sariego y otra en Sariego Muerto en término de Villaviciosa.

PALENCIA.—La de más importancia es la Salina de Río Pisuerga. De escaso interés es la del Llanillo, en término de Frontada y cerca de Quintanaluenga. Corresponden al triás.

SANTANDER.—En esta provincia explotó el Estado las salinas de Cabezón de la Sal y la de Treceño. En la primera hay reconocida una capa de sal gema de 18 metros de potencia y está en explotación. La de Treceño está situada a 26 kilómetros al O. de Torrelavega. En ambas la explotación es por medio de pozos y extrayendo aguas saturadas de sal que luego se evaporan precipitando el cloruro de sodio.

También existen en esta provincia las salinas de Valdoliga, en término del pueblo de Cabiedes que presenta un banco de sal de 22 metros de espesor con variedades ro-

jiza y negra. La sal está mezclada con cloruro magnésico y sulfato de cal.

La llamada Ramón al SE. de Cabezón de la Sal con un banco de sal de 45 metros de potencia surte las necesidades de la fábrica de sosa de la Sociedad Solvay y Compañía. Esta Sociedad ha realizado sondeos que han puesto de manifiesto la existencia de grandes bancos de sal.

Contiguas a las antiguas minas del Estado de Cabezón de la Sal había otras de particulares; las llamadas Fortuna y Previsión son las más importantes. Hay también manantiales muy salinos al S. de Vallines. Todas estas salinas corresponden al terreno triásico.

SEVILLA.—Se conocen las salinas de Alguaciles en término de Utrera, Bollo, Bermejales, Lantejuela y Morón. En esta provincia, en los términos de Osuna y Puebla de Cazalla, hay una región con muchas manifestaciones salinas. Analizadas las aguas de cuatro fuentes distintas, situadas en la referida región, en el Laboratorio de la Escuela Especial de Ingenieros de Minas, han dado el resultado siguiente:

- | | | | | | | | |
|-----------------|---|-------|--------|----|--------|----|--------|
| 1. ^a | — | 1,800 | gramos | de | potasa | en | litro. |
| 2. ^a | — | 2,600 | » | » | » | » | » |
| 3. ^a | — | 0,853 | » | » | » | » | » |
| 4. ^a | — | 0,896 | » | » | » | » | » |

Como se ve, los resultados son muy satisfactorios y animan a realizar una investigación más detenida. Según nuestras noticias se ha creado una sociedad con este fin.

SORIA.—En esta provincia existe la importante salina de Medinaceli, conocida de antiguo con el nombre de Salina del Rey. Se halla a menos de 1 kilómetro del ferrocarril de Madrid a Zaragoza. Se explota por pozos un manantial

de agua salada a 18 grados Beaumé. Existen también en esta provincia las salinas de mucha menos importancia, de Longas y Marcos, y de Turquillas.

TARRAGONA.—Son de escaso interés las salinas de esta provincia. Entre Pradell y el Coll de la Eulacia y al E. de Falset hay manantiales salados. También los hay en Pontils y Figuerola.

TERUEL.—En esta provincia las salinas están enclavadas en el triásico. Las más importantes son las de Armillas, Ojos Negros, Frías y Arcos que explotó el Estado muchos años, y una de sal de agua. Son también interesantes la salina de Alpeñés en las márgenes del Jiloca, cerca de Villafranca del Campo, la de Valtablado en Albarracín; en el barranco del Valle al SO. de Torres; en las inmediaciones de Royuela; la de Gallel en término de Alba; en la Fuen de Jaime, del de Arcos y La Rueda del de Manzaneda.

TOLEDO.—En el mioceno de las provincias de Madrid y Toledo, en la cuenca del Tajo, se encuentra un horizonte salino muy interesante. En él se hallan las salinas de Villarrubia de Santiago en el partido de Ocaña. Alternan las capas de sal gema con margas, yesos, gredas y thenar-ditas. Hay sal común azul.

VALENCIA.—También al triásico corresponden las salinas de esta provincia. La más importante es la de Manuel que fué explotada por el Estado. Son también de interés las de Requena a 16 kilómetros de la población y las del barranco Salado a 2 kilómetros de Villargordo. De menos interés son las de Bicorp, Andilla, Tuejar, Chelva, Calles, Domeño, Llosa del Obispo y Cofrentes.

VALLADOLID.—La más conocida salina es la nombrada Prodigiosa, en Ermita de las Salinas, en términos de Medina del Campo y Belascálvaro a 3 kilómetros al Oeste

de Medina. También se encuentra sal en las lagunas del Compás y Aldea Mayor de San Martín.

ZAMORA.—No conocemos más salina, y esta sin importancia, que la de Villafafila.

ZARAGOZA.—En esta provincia tienen importancia los criaderos de sal. En los dos terrenos terciarios oligoceno y mioceno aun no bien deslindados existen salinas. Los correspondientes al primero se hallan en la prolongación de la cuenca de Cataluña y por tanto revisiten interés grande. Hay manifestaciones salinas en Taus-te, Gallur, Ruesta, Zuera, Undues de Lerda y otros. En las primeras la sal común contiene 2 gramos de potasio en litro. Es muy interesante la balsa llena de agua muy salada situada a 2 kilómetros al Sur de Bujaraloz. También hay otra en Sástago. Entre Bujaraloz y Sariñena de la provincia de Huesca hay muchos pozos de sal y son abundantes en toda esta zona las manifestaciones salinas. En Bujaraloz se ha hecho algún pozo buscando la sal potásica, habiéndose hallado en las aguas hasta 6,40 gramos en litro de potasio en estado de cloruro.

En el mioceno existen las famosas salinas de Remolinos, divididas en varias propiedades. Se halla entre ellas la nombrada Real que fué propiedad del Estado y otras importantes: Heroína de Aragón, Bonita, Balcón, El Angel, La Veneciana, etc. En el barranco de Las Salinas se ve muy bien el criadero constituido por dos grandes mantos; el inferior de 14 a 18 metros y el superior más puro de unos 8 metros. En general la sal es blanca pero en algunas minas como en la Bonita tiene un tinte rojizo.

Pasan los mantos de sal al término de Torres de Berce-lón en donde se hallan las minas Esmeralda, Santa Eulalia y otras.

En término de Mediana en el lugar denominado Balsa

Salada hay un pozo de unos 6 metros de profundidad en donde se extrae sulfato de sosa y sal común. En la balsa, las sales encontradas contienen, según análisis hecho por el Sr. Romero Ortiz, 4,39 gramos por kilogramo de sales.

En la sal común procedente de estas minas hemos hecho algunos análisis, y el resultado respecto al contenido en potasa ha sido negativo, pero en cambio, las aguas que pasan junto a la mina Real contienen 2,60 gramos de potasio en litro, según análisis de la Escuela de Ingenieros de Minas.

Criaderos de sulfato de sosa.—En España existen además bastantes yacimientos de sulfato de sosa generalmente en el mioceno, sobre cuyo origen existen muy encontradas opiniones, pero atendiendo a que en los lechos intercalados entre los mantos salinos se presentan fósiles de agua dulce, no parece que sean debidos los depósitos de estas sales a irrupciones de aguas marinas. Su origen puede ser debido a acciones geiserianas o secundarias. De todos modos no parecen tener relación estos criaderos con el origen que se asigna en general a los criaderos potásicos.

Se presentan estas sustancias en varias regiones de España, constituyendo criaderos muy importantes que se hallan sin explotar. Entre éstos, el Sr. Mallada cita el de Alcanadre en la provincia de Logroño con capas hasta de 10 metros de espesor. Los situados en la margen izquierda del río Tirón en término de Cerezo (Burgos) donde hay montada una pequeña explotación. Los importantísimos de la cuenca del Tajo en las provincias de Madrid y Toledo y términos de Villamanrique, Colmenar de Oreja, Ciempozuelos, San Martín de la Vega, Villarrubia de los Ojos y Añover; apareciendo el sulfato bajo las formas de the-

nardita, exantaloza y glauberita y teniendo la thenardita, término medio, 0,273 % de sulfato de potasa.

Otros criaderos hay también en Mediana (Zaragoza) objeto de explotación, en Terrer y Calatayud de la misma provincia; en las lagunas de Medina del Campo, Olmedo y otras de la provincia de Valladolid; en Cervera (Lérida) impregnando los yesos, y entre Artesa y Agramunt, de la misma provincia, hay dos fuentecillas que tienen esta sal en disolución.

También hay sulfato sódico en las lagunas de Quero (Toledo), en Villarta de San Juan (Ciudad Real) y en Lodososa (Navarra).

Manantiales minero-medicinales.—Aunque esta clase de manantiales tienen un origen muy vario; puede sin embargo, en ocasiones, el conocimiento de la composición de sus aguas, ser un dato, una guía, para la exploración de una cuenca potásica.

He aquí a continuación una lista de los manantiales cuyas aguas contienen potasa, con expresión de algunas de sus cualidades más importantes. Generalmente la frecuente asociación de las sales potásicas con el cloruro de sodio es causa de que el investigador se fije con más interés en aquellos manantiales que traen unidas las dos clases de sales. En la relación subsiguiente hemos puesto de manifiesto el contenido en sal común en aquellos criaderos que por su dosis fuerte de esta sal puede llamar la atención de los investigadores.



MANANTIAL	CLORURO SÓDICO	TEMPERATURA Grados.	OBSERVACIONES
Barambio en	—	14	
Nanclares de	—	18,50	
Salinillas de	—	—	
Sobrón-Sop	—	16	Contiene 0,04 de silicato potásico.
Laguna de l	—	2	



MANANTIAL	PROVINCIA	TERRENO geológico en donde brota.	DOSIS total. Gramos por litro.	CLORURO potásico.	SULFATO potásico.	CARBO-NATO potásico.	CLORURO sódico.	TEMPERATURA Grados.	OBSERVACIONES
Barambio en Amurrio ...	Álava	Cenomanense	0,514	—	0,09	—	—	14	
Nancelares de la Oca	»	Senonense	0,2685	—	0,0033	—	—	18,50	
Salinillas de Buradón.....	»	Cretáceo	3,0927	—	0,0192	—	—	—	
Sobrón-Soportilla	»	»	0,7350	—	—	—	—	16	Contiene 0,04 de silicato potásico.
Laguna de la Higuera ...	Albacete	Mioceno	361,7800	0,8300	8,3100	—	—	2	
Nuestra Señora de Orito...	Alicante	Triás superior	61,6550	—	0,5100	—	56,367	15	
Salinetas de Novelda.....	»	Eoceno	27,9450	0,027	—	—	25,916	20	
Alfaro.....	Almería	Terciario	0,8920	0,001	—	—	—	—	
Sierra Alhamilla	»	»	—	Indicios de potasa			—	42	
Caldas de Estroch	Barcelona	Granito	0,6982	—	—	0,0025	—	41	
Caldas de Montbuy.....	»	»	1,2306	—	0,0013	0,0024	—	50 a 70	
Burriach	»	»	0,9090	—	0,0090	—	—	18	
Prat.....	»	»	0,4046	—	0,0023	0,0045	—	15	
Puda de Vich.....	»	Eoceno	1,8160	—	0,0696	—	—	13	
Ubagá de Codinats	»	»	—	Indicios de potasa			—	11,5	
Segales-Vich.....	»	»	7,7400	—	0,0810	—	6,5310	—	
Arlanzón	Burgos	Diluvial	0,5266	—	0,0014	—	—	17	
Cucho.....	»	Mioceno	0,1913	—	0,0119	—	—	15	
El Porvenir de Miranda..	»	»	0,5390	0,0714	—	—	—	22	
Montemayor y Béjar	Cáceres	Granito	0,2670	—	—	—	—	42 y 30	0,015 óxido de potasio.
Hervid. del Emperador ..	Ciudad Real	Mioceno	11,8970	0,2120	—	—	7,6170	20	
Idem del Villar del Pozo.	»	Siluriano	0,9127	—	0,0233	—	—	27	
Gigónza.....	Cádiz	Triás	2,3792	0,0624	—	—	—	19	
Fuente Agría de Villahar-									
ta. Malos Pasos.....	Córdoba	Carbonífero	0,4325	0,0066	—	—	—	21	
Villaharta Santa Elisa....	»	»	3,2495	0,0098	—	—	—	21	
Horcajo de Lucena	»	Eoceno	35,3270	0,7100	—	—	0,7330	18	
Arteijo	Coruña	Granito	1,8797	0,0158	—	—	1,6774	35	
Solán de Cabras.....	Cuenca	Jurásico	0,3612	—	0,0017	—	—	21	
Yemeda.....	»	Cretáceo	2,3342	0,0875	—	—	—	17	
Caldas de Malabella	Gerona	Siluriano	3,0725	0,3228	0,0264	0,0393	0,2531	45 a 60	Mucho hidrógeno sulf.
Rivas	»	»	—	Indicios de potasa			—	18	
Lanjarón-Baño.....	Granada	»	7,8360	0,0681	—	—	4,8616	30	
Lanjarón-Capuchina	»	»	11,2717	0,0653	—	—	6,9907	20	
Zújar.....	»	Diluvial	—	Indicios de potasa			—	40	
Sacedón	Guadalajara	Mioceno	0,0560	0,0280	—	—	—	28	
Trillo	»	Terciario	2,4160	0,0400	—	—	—	27	
Alzola	Guipúzcoa	Cenomanense	0,3344	0,0109	—	—	—	30	
Arechavaleta.....	»	Cretáceo	—	Indicios de sulfato potásico			—	15	
Cestona-Fuente María ...	»	Urgo-aptense	8,7389	0,0026	—	—	5,5887	27 a 31	
Escoriaza-Estribar.....	»	Cretáceo inf.	2,0942	—	—	0,0014	—	15	
Idem Bolivari.....	»	»	2,1056	—	—	0,0159	—	14	
Idem Bolivari II.....	»	»	0,8545	—	—	0,0102	—	12	
Ferruginosa	»	»	1,1209	—	0,0029	—	—	—	
Gaviria.....	»	Cretáceo	0,2389	0,0122	—	—	—	15	
Iturgorri	»	»	—	0,0122	—	—	—	—	
Insálus.....	»	»	0,8279	—	0,0111	—	—	18	
Ormáiztegui, 1 ^{er} manantial	»	Cretáceo inf.	2,2634	—	0,0037	—	—	13	



MANANTIAL	PROVINCIA	TERRENO geológico en donde brota.	DOSIS total. Gramos por litro.	CLORURO potásico.	SULFATO potásico.	CARBO-NATO potásico.	NITRATO potásico.	CLORURO sódico.	SULFATO sódico.	TEMPERATURA Grados.
Ormaiztegui 2.º manantial.	Guipúzcoa	Cretáceo inf.	1,7056	—	0,1163	—	—	—	—	13
Sta. Águeda del Jardín...	»	Cretáceo	2,5887	—	0,0033	—	—	—	—	17
Id. del Cura....	»	»	2,6428	—	0,0030	—	—	—	—	14,5
Id. de los Baños.	»	»	3,3021	—	0,0051	—	—	—	—	13,5
Manzano.....	Huelva	Sienita	0,2750	—	—	0,008	—	—	—	—
Arro.....	Huesca	Eoceno	1,4346	0,0496	—	—	—	0,0435	—	—
Lanaja.....	»	Aluvial	1,3980	—	0,0430	—	—	—	—	—
La Aliseda (San José)....	Jaén	Granito	0,0835	0,0034	—	—	—	—	—	19
Idem Salud.....	»	»	0,8116	—	0,0127	—	—	—	—	19
Arnedillo.....	Logroño	Triás superior	7,5378	0,0092	—	—	—	5,1087	—	52
Margarita de Loeches....	Madrid	Mioceno	111,2178	—	5,2530	—	—	—	80,2680	12,5
Maravilla de Loeches....	»	»	5,4888	—	0,0425	—	—	—	—	—
San Antonio. Chamartín..	»	Cuaternario	0,4549	0,0052	—	—	—	—	—	—
San Francisco. Id.....	»	»	0,3002	0,0039	—	—	—	—	—	14
Butarque.....	»	»	1,8284	0,0128	—	0,0017	—	—	—	—
Carratraca.....	Málaga	Estr. cristalino	0,5000	—	0,0292	—	—	—	—	18
Betelu. Dama Iturri.....	Navarra	Cretáceo	0,9749	—	0,0066	—	—	—	—	24
Burtada.....	»	Eoceno	1,7716	0,0049	—	—	—	0,6573	—	14
Fitero.....	»	Jurásico	4,7227	0,0818	—	—	—	2,3840	—	47
Veris Sousas.....	Orense	Granito	1,6164	—	—	0,0042	—	—	—	19
Caldeliñas.....	»	»	1,3321	—	—	0,0028	—	—	—	19
Fuentesanta (N. Director).	Oviedo	Cretáceo	0,4844	0,0123	—	—	—	—	—	21 a 25
Id.....	»	»	0,3589	0,0113	—	—	—	—	—	Id.
Caldelas de Tuy.....	Pontevedra	Granito	0,7570	—	0,0078	—	—	—	—	42 a 49
La Toja.....	»	»	29,7400	0,6270	—	—	—	23,873	—	28 a 60
Mondariz.....	»	»	3,7975	—	—	0,1989	—	—	—	17,5
Ledesma.....	Salamanca	Estr. cristalino	0,4600	—	0,0115	—	—	—	—	50 a 52
Caldas de Besaya.....	Santander	Triás y carb.º	3,6584	—	0,1676	—	—	2,9229	—	35 a 37
Fontibre.....	»	Triás	7,8945	0,0115	0,0021	—	—	4,5118	—	10,8
Liérganes.....	»	Cretáceo	3,7890	—	0,2950	—	—	—	—	17 a 21
Ontaneda y Alceda.....	»	Jurásico	5,5020	—	0,4850	—	—	—	1,3920	25
Suellacabras y Agreda...	Soria	Infracretáceo	1,1495	—	0,0944	—	—	—	—	10 a 12
Bellus.....	Valencia	Cretáceo	0,3000	—	0,0050	—	—	—	—	28
Fuente Podrida Requena.	»	»	0,4752	—	0,0291	—	—	—	—	20
Medina del Campo.....	Valladolid	Mioceno	5,6956	—	0,0178	—	—	1,3233	—	—
Cortezubt.....	Vizcaya	Cretáceo	0,8133	0,0068	—	—	—	—	—	18
Elorrio (Baños Viejos)...	»	Ofita	1,8332	—	—	0,0186	—	—	—	15
Idem (Baños Nuevos)....	»	»	0,8905	—	—	0,0027	—	—	—	15
Larrauri.....	»	Diluvial	0,4633	0,0023	—	—	—	—	—	17
La Muera de Arbieto.....	»	Cretáceo	15,4675	—	0,0756	—	—	10,4177	—	—
Molinar de Carranza.....	»	Urgo-aptense	1,0904	0,0033	—	—	—	0,5348	—	29 a 33
Urberuaga de Ubilla....	»	»	0,3141	—	0,0042	—	—	—	—	27
Zaldivar.....	»	Cretáceo	15,4991	—	0,0242	—	—	10,7732	—	16
Villafáfila.....	Zamora	Mioceno	—	—	—	—	1,800	—	—	—
Jaraba.....	Zaragoza	Cretáceo	0,7331	0,0214	—	—	—	—	—	34
Quinto.....	»	Mioceno	2,8600	—	0,1300	—	—	—	—	20

Del examen del estado anterior se deduce que el contenido en potasa de los manantiales españoles es pequeño y que los análisis no parecen hacer presumir la existencia de criaderos potásicos. Se observa alguna mayor proporción de potasa en los clorurados sódicos, pero en general la proporción de las sales potásicas y sódicas está en menor proporción que en el agua del mar, lo que resta verosimilitud a la hipótesis de que estas fuentes son debidas a lo que se ha llamado ciclo inverso o sea a infiltración de aguas oceánicas, caldeo de éstas, ascensión por canales y emergencia del manantial.

La presencia de manantiales clorurados sódicos muy lejos de las costas, como los que brotan en Logroño, Valladolid, etc. también parece contradecir la suposición de que esta clase de manantiales tomen sus aguas del mar. El paso por rocas salinas o por aquéllas que por alteración puedan dar esa clase de sales es más verosímil.

Más claro aún que en las clorurado-sódicas nos parece que el contenido en sulfato cálcico, sódico y potásico en las aguas sulfato-sódicas, es debido a la influencia de la naturaleza del terreno.

La influencia de las piritas parece clara, y las reacciones a que da lugar con producción de hidrógeno sulfurado libre, que puede atacar a los silicatos de potasa, sosa y cal, da lugar a los sulfatos alcalinos y calizos que entran en la composición de muchos manantiales.

En algunos manantiales como los de Loeches, en la provincia de Madrid, se puede explicar el origen de la fuerte dosis de sulfato potásico y sódico que contienen, a que las aguas freáticas que salen por estos manantiales disuelven las glauberitas y otras sales sulfatadas que existen en el subsuelo de una parte de la provincia de Madrid.

Como resultado final insistiremos que de los análisis

precedentes no se puede sospechar que las aguas de los expresados manantiales deban la potasa que contienen a atravesar o tocar criaderos potásicos.

SONDEOS

Como encima de los yacimientos potásicos, generalmente, se presentan muchos terrenos estériles o muertos que han sido los que han guardado a las sales a través de los siglos, aislándolas de la acción del agua, se comprenderá bien que será preciso recurrir a los sondeos en la mayor parte de los casos como único medio de investigación.

La ubicación de los sondeos dependerá del estudio geológico que previamente se haya realizado. En este estudio ocupará lugar preferente el examen de la estratigrafía de la comarca. Es preciso examinar bien el orden de sucesión de las capas, sus pliegues y accidentes, pudiéndose de este modo apreciar a la profundidad probable a que se debe cortar el criadero. No conviene en este asunto tener prejuicios y se debe examinar con atención y reflexión los datos de otros yacimientos, sin por ello creer que en todas las cuencas se repiten los mismos fenómenos. Así por ejemplo, en Alemania, no se encuentra sal potásica en los ejes de los pliegues anticlinales, y en España se halla potasa en el centro de los mismos y hasta en sus afloramientos, como en Cardona.

Las manifestaciones salinas de la región son datos muy

interesantes para poder apreciar, no sólo la posibilidad de hallar yacimientos potásicos, sino también pueden ayudar a orientarnos acerca de la profundidad a que se pueden encontrar. Así, la fuente de Vilanova la Aguda, que contiene 4,1 gramos de potasa por litro, dió lugar a que se previera la existencia del criadero potásico y la temperatura a que sale, que es próximamente la de la superficie, fué un dato para suponer que el agua tiene un recorrido pequeño o superficial, y que la sal no debe estar muy honda. Los trabajos realizados después así lo confirmaron.

Conviene también tener muy presentes las condiciones topográficas del sitio en donde se quiere hacer el reconocimiento. A poder ser debe ubicarse en la proximidad de carreteras o caminos por donde puedan circular carros para el transporte de la maquinaria, en general pesada, que se necesita para ejecutar los sondeos, y también para transportar el carbón y materiales necesarios para el sondeo. Es preciso también disponer de agua en sitio próximo al lugar donde se va a realizar el taladro. Las manipulaciones de los sondeos llevan consigo mucho gasto de agua. Es preciso disponer en general de unos 20 m³ de agua en 24 horas.

No debe estar tampoco distante el sondeo de poblados, aldeas o caseríos en donde puedan alojarse los obreros que trabajen en el sondeo, que nunca bajarán de 10 o 12 obreros, puesto que los trabajos se precisa llevar a dos relevos, o sea trabajar de día y de noche.

No vamos a reseñar aquí las maquinarias empleadas para la ejecución de los sondeos de investigación de cuencas potásicas, pues sirven todas las que se emplean para otras sustancias. Ahora bien, la solubilidad del criadero exige manipulaciones y precauciones muy especiales, que

serán de las que nos ocuparemos en el presente trabajo.

Conviene atravesar el yacimiento salino sacando testigos, por consiguiente con trenes de sonda empleando la rotación, ya sea con granalla de acero, ya con diamante, preferentemente esta última. Los terrenos muertos que hay encima del criadero se pueden atravesar por percusión, que es más económico, utilizando, por tanto, un tren de sondeo en el que se puedan emplear los dos procedimientos.

Como encima del criadero salino suelen existir corrientes de agua que circulan por las capas permeables, situadas a niveles más superiores que la impermeable que sirve de techo, es preciso, al realizar el sondeo, aislar esas aguas del yacimiento, con objeto de que éste no sea disuelto en todo o en parte. Esto exige que la tubería que se coloque en el taladro se apoye en la capa impermeable **y que la junta de ambas sea completamente estanca.** Con ello se conseguirá que no se pierda el líquido que se prepara de un modo especial y que se inyecta para ejecutar la perforación, y que no se diluya en las aguas que existen encima de la capa impermeable.

Se consigue hacer esa junta estanca, ya sea con arcilla, ya sea con cemento que se introducen a presión desde arriba, y que luego se atraviesan otra vez con la sonda, debiéndose hacer esta perforación con corona, porque haciéndola con el trépano se puede comprometer la impermeabilidad de la junta. A veces el agua cortada con la sonda sale a presión y entonces se aumentan las dificultades, porque el agua arrastra al cemento no dejándole fraguar. En ese caso conviene mejor el empleo de arcilla, pero ocurre algunas veces que por la gran presión del agua se filtra ésta por las juntas de la tubería, y entonces conviene colocar una segunda tubería concéntrica con la prime-

ra y de un diámetro poco menor, para no disminuir nada más que en lo preciso las dimensiones del taladro. En el interior de esta segunda tubería es por donde funciona el aparato sondeador.

Como la sal potásica se presenta con mucha irregularidad dentro del yacimiento, porque está mezclada con sal común en proporciones muy variables, conviene sacar el mayor número posible de testigos. En los sondeos que hizo el Estado, la Casa sondeadora se obligaba a sacar de testigos el 80 % de la longitud total del sondeo, y en general sacó más del 90 %. Conviene que la longitud de los testigos obtenidos sea de 3 a 4 metros; si fueran mayores los extremos de los pedazos rotos en contacto y con la rotación de la corona podría gastarlos y perderse longitud de testigo.

También es interesante conseguir que el diámetro de los testigos sea el mayor posible. Se debe tener, por lo menos en las profundidades mayores, un diámetro de 5 a 6 centímetros. Diámetros más pequeños traerían como consecuencia grandes pérdidas de testigos por roturas, disgregación y disolución.

Si se empleara agua corriente en las operaciones del sondeo se disolverían los testigos, y para evitar esta contingencia se emplean lejías de cloruro de magnesio a 33° B. No debiendo bajar la graduación de 31° por ningún motivo, porque entonces de nada serviría haber empleado lejía, porque la potasa ya se disuelve fácilmente. Con el empleo de éstas se reduce al mínimo la pérdida de riqueza de los testigos, ya sean las sales cortadas carnalitas o silvinitas. Una lejía de esa composición y graduación no disuelve ni el cloruro sódico, ni el potásico, ni el cloruro doble de potasio y magnesio.

Para dar una idea de la marcha de un sondeo, a conti-

nuación estampamos un cuadro y presentamos unos gráficos. En el primero se ponen de manifiesto los datos referentes a los avances obtenidos y obtención de testigos en la cuenca potásica catalana, en los cuatro sondeos realizados en ella por el Estado.

Los gráficos adjuntos se refieren al sondeo de Cardona y dan idea de la marcha de la operación, pues explica las horas empleadas en las distintas manipulaciones que exige un sondeo, y hasta se expresa las horas perdidas por las averías y tropiezos que dichas obras llevan siempre consigo.

He aquí el cuadro:

PERFORACIÓN A

SONDEOS	PROFUNDIDAD Metros	PERCUSIÓN		ROTACIÓN A GRANALLA		ROTACIÓN CON CORONA DE DIAMANTES		TESTIGOS	
		METROS perfora- dos	AVANCE medio en 24 horas. Metros	METROS perfora- dos	AVANCE medio en 24 horas. Metros	METROS perforados	AVANCE medio en 24 horas. Metros	LONGITUD total ex- traída. Metros	PÉRDIDA de testigo %
Cardona	1.634	223,9	7,64	82,50	6,07	1.327,6	7,31	1.312	1,14
Castellfullit .	898	448,6	9,34	»	»	449,3	10,69	448	0,28
Balsareny . .	781	507,6	8,90	»	»	273,4	10,51	268	1,97
Torà	1.215	333,0	7,57	»	»	882,0	8,41	850,6	3,56

Hay que tener en cuenta que no se saca testigo mas que cuando la perforación se hace a rotación.



Los testigos, una vez obtenidos, deben ser secados, limpiados del cloruro magnésico y guardados con cuidado. Las silvinitas resisten bien sin pérdidas posibles un largo período de tiempo; no le ocurre lo mismo a la carnalita, por lo que aconsejamos que se envuelvan con cuidado y varias veces en papel parafinado.

Los testigos deben ser después sometidos a los análisis, pero para recojer la muestra que se lleva al laboratorio es preciso tomar algunas precauciones. Algunas veces lo que se hace es taladrar el centro del testigo con un diámetro muy pequeño y de este cilindro interior se toma la muestra. Tiene la ventaja de que aunque se usen las aguas magnesianas se disuelve en las maniobras del sondeo algo de la parte externa del testigo, y utilizando sólo la parte interna del testigo se evita el poder tomar como riqueza una inferior a la real.

Pero como la sal potásica y la sal común están distribuidas en el testigo de una manera muy irregular, puede suceder que el análisis del cilindrito interno de que acabamos de hacer mención no de idea exacta de la riqueza verdadera del testigo, y por eso se ha preferido por algunos serrar el testigo por dos diámetros perpendiculares y analizar el polvo obtenido.

A continuación exponemos los procedimientos más prácticos y usuales para el análisis de las sales potásicas, no sólo de los testigos de los sondeos, sino también de los que se emplean para hacer los análisis de las sales potásicas en general.

Una vez realizados los taladros se extraen las tuberías por los procedimientos comunmente empleados y se procede al taponado. Operación importante que conviene hacer bien, porque el no haber tomado las debidas precauciones ha sido causa de verdaderas catástrofes ocurridas

en las minas alemanas.

El principal objeto del taponado es aislar del criadero potásico las aguas que circulan por encima de su manto impermeable protector.

En algunos sondeos de los realizados en Cataluña, la operación del taponado se ha hecho del modo siguiente: Desde el fondo del taladro hasta 10 metros encima de las capas salinas, se han arrojado bolas de arcillas de un diámetro un poco inferior al del taladro, que han sido apisonadas valiéndose de la máquina de sondear. Encima se ha puesto un tapón de cemento de 5 metros de altura, cuyo cemento unas veces se ha introducido en la proporción corriente de agua, por medio de una cuchara con válvula, y otras por medio de tubos en forma de lechada del uno al 10, dejándole 24 horas por lo menos para el fraguado. Es conveniente emplear cemento magnesiano.

Encima del tapón de cemento se vuelven a echar bolas de arcilla apisonadas en 60 a 80 metros, y por último se ejecuta otro tapón de cemento de unos 10 metros. Conviene, si se conoce que hay alguna corriente de agua importante, taponar con cemento la zona por donde ésta se alumbraba. Encima se echa arcilla o margas hasta la boca del taladro.

En los sondeos que el Estado hizo en Cataluña se echó arena en toda la zona potásica, por sus condiciones de adaptación al volumen irregular del agujero, y por ser inalterable de volumen una vez apisonada, se juzga que es la substancia más a propósito para rellenar el hueco, pues no existirán contracciones que puedan mover el verdadero tapón colocada encima.

Después de la arena se puso el primer tapón de cemento de unos 100 metros, encima se colocaron unos 25 metros de arcilla apisonada arrojada en el taladro en forma

de bolas, encima se volvió a colocar otro tapón de cemento de 200 metros y encima se echaron margas y en la superficie un tapón de madera.

ENSAYOS Y ANALISIS QUÍMICOS DE MENAS POTÁSICAS

Primeros ensayos.—Cuando se están realizando sondeos conviene conocer si las aguas se van cargando de sales sódicas y potásicas, y esto se determina por medio del areómetro. En los análisis efectuados por el Estado español, una graduación superior a 2 ponía en guardia al encargado del sondeo, con objeto de que al mayor aumento se emplearan aguas saturadas de sales.

La presencia de los cloruros se determina por medio del nitrato de plata.

La determinación cuantitativa de los tres elementos principales, potasio, magnesio y anhídrido sulfúrico, que además del cloro y sodio entran en la formación de las menas potásicas, se hace disolviendo la muestra en agua destilada. En el líquido filtrado se determina la presencia de los tres cuerpos por medio de las operaciones siguientes:

La presencia del potasio se apercibirá por la reacción del nitrito cobáltico sódico, o por el bitartrato sódico. Los sulfatos serán reconocidos, tratando la solución por cloruro de bario y la magnesia por la reacción del fosfato de amoníaco. Este último es difícil de advertir su presen-

cia a no ser que dé un abundante precipitado, pues ya es sabido que el agua empleada en los sondeos lleva en disolución cloruro magnésico.

Se deduce: 1.º Que la sal gema no da precipitado con ninguno de los tres reactivos. 2.º Que la silvinita da reacción con el reactivo del potasio y no lo da con los otros dos. 3.º Que la carnalita da precipitado con los reactivos del potasio y magnesia y no con el de los sulfatos. 4.º Que la kainita y la sal dura dan precipitado con los tres reactivos; y 5.º Que la kieserita no lo da con el del potasio y sí con los otros dos.

Determinación cuantitativa de la potasa.—Varios son los procedimientos químicos que se pueden seguir para la determinación cuantitativa del potasio. Nosotros haremos un resumen de los más importantes utilizados en las fábricas y en los laboratorios de carácter industrial. Conviene hacer presente que, en general en la industria, la riqueza de las sales potásicas no viene dada por el peso del potasio que contiene, sino por el peso del óxido potásico anhidro que con el potasio que contiene la sal se puede formar; así que será preciso multiplicar la riqueza en potasio por 1,205 para obtener la del óxido potásico anhidro.

Procedimiento por el ácido cloroplátinico.—El empleo de este reactivo se debe a Finker, que evaporaba la sal de potasa con el cloruro de platino sin eliminar el ácido sulfúrico y reducía el cloroplatinato de potasio pesando el platino resultante. Éste se usa de antiguo en las minas de Anhalt y se utiliza para determinar la potasa que contienen la carnalita, la silvinita y la kainita que se producen en aquellas minas. Se comienza por eliminar el ácido

sulfúrico, se toman 100 gramos de la muestra que se quiere analizar bien preparada, o sea muy homogénea y finamente pulverizada, y se echa en un frasco aforado de 1.000 centímetros cúbicos. En él se vierten 500 a 600 centímetros cúbicos de agua hirviendo y 10 cm³ de ácido clorhídrico, con objeto de disolver la polyhalita. Claro es que si los minerales no contienen esta sal, como ocurre con los españoles, no es preciso agregar este ácido. Se deja enfriar y se agrega agua hasta ocupar los 1.000 cm³. Se agita y luego se filtra. Del líquido filtrado se toman 100 cm³ y se le introduce en un frasco cuya cabida sea de 500 cm³ y se agrega agua hasta que el líquido ocupe un volumen de 250 cm³ y después se agrega una solución normal hirviendo de cloruro de bario o sea constituida por 104 gramos de esta sal seca por litro. Se calcula el volumen del precipitado conociendo el volumen de la solución de cloruro de bario empleada y la densidad del sulfato de bario precipitado. Se deja enfriar y se vierte agua de modo que el volumen del líquido sea precisamente de 500 cm³, se agita y se filtra. Después sobre 50 cm³ del líquido evaporado a sequedad y correspondiendo a 1 gramo de substancia, se determina la potasa por el cloruro platínico agregando de éste una cantidad proporcional a la potasa que se calcula tiene el mineral, y se lleva a un baño de maría hasta que tenga consistencia de jarabe; se lava con alcohol de 90° varias veces, se filtra y después se disuelve el precipitado con agua bien caliente recogéndolo en una cápsula tarada, se evapora a sequedad, se seca a 120° en la estufa y se pesa. El factor por quien hay que multiplicar el peso que se obtenga para determinar la proporción de potasa que contiene es 0,1940.

Procedimiento por el ácido perclórico.— Los primeros ensayos que se habían hecho con este reactivo no tuvieron éxito, pero W. Wense (1) mostró partiendo ya de la propiedad antes conocida del perclorato potásico, de ser casi insoluble en alcohol, de que aun era menos soluble si se operaba con un exceso de ácido perclórico.

Se comienza también por eliminar el ácido sulfúrico, añadiendo a la disolución que se va a analizar cloruro bórico, como hemos dicho antes. El precipitado, después de dejarlo reposar, se filtra, se lava, se seca, se calcina y se pesa. Al líquido filtrado se le añade un poco de amoníaco y puesto a hervir se le añade carbonato amónico, también hirviendo. Se deja en ebullición un rato, se filtra y se lava. En el líquido filtrado no hay mas que sales de sodio, potasio, amonio y algo de magnesio si había mezcla en la disolución.

El líquido filtrado se evapora a sequedad directamente en cápsula de platino, empezando en baño de arena y terminando en baño de maría para evitar proyecciones; después se calcina para eliminar las sales amoniacales. En vez de evaporar a sequedad en cápsula de platino, se puede hacer en vaso de jena al baño de arena y echando unas gotas de agua regia, pero hay que hacerlo varias veces agregando ácido clorhídrico hasta que se haya eliminado el nítrico, y después llevarlo a la cápsula de platino como antes.

Si hay magnesia conviene eliminarla agregando unos cristales de ácido oxálico; se calcina, se añade un poco de agua y se filtra, recogiendo el líquido en cápsula de platino; se añade un poco de ácido clorhídrico, se calcina y

(1) W. Wense Zeit Amarg Cheni. Págs. 691-1891, págs. 233-1892.

se pesan juntos los cloruros de potasio y sodio, que son los únicos que deben quedar.

Si hay mucha sosa se precipita ésta con ácido clorhídrico filtrado en un crisol de Gooch y recogiendo el líquido en una capsulita de porcelana tarada. Aparte se recoge el líquido del lavado que, concentrado, se añade al primero. Si hay mucha sosa aún, se disuelve el precipitado en agua y, llevado a sequedad, se vuelve a precipitar con ácido clorhídrico.

El líquido de la cápsula se evapora a sequedad; se añaden unas gotas de agua y próximamente un volumen de ácido perclórico representado por un cm.³ por cada cinco de muestra ensayada. Se lleva al baño de arena y añadiendo si es necesario ácido perclórico con objeto de que dando unos humos muy espesos tome consistencia de jarabe. Se deben romper los cristales con una varilla de vidrio y se lavan varias veces con alcohol; se filtra y se disuelve el precipitado en unas gotas de agua bien caliente que se recoge sobre cápsula tarada; se lleva a sequedad y se calcina ligeramente. El factor del óxido potásico anhidro K₂O es 0,339. La sosa se obtiene por diferencia.

En vez de emplear el ácido perclórico se puede usar el cloruro de platino; llevando la operación lo mismo hasta agregar el reactivo, y desde este momento como ya indicamos al tratar del procedimiento por el cloruro de platino.

Procedimiento por el nitrato de cobalto.—Este procedimiento consiste en precipitar la potasa en forma de cobaltinitrito de potasa. Para lo cual se toma un número determinado de centímetros cúbicos de la disolución que se va a analizar, tanto mayor cuanto menor sea la riqueza de potasa, y se añade el reactivo en un volumen de

1,5 centímetro cúbico por 5 centímetros cúbicos del líquido potásico.

El reactivo se prepara mezclando en el momento de usarse seis volúmenes de un líquido A constituido por 50 gramos de nitrato de cobalto cristalizado en 100 centímetros cúbicos de agua y 2 centímetros cúbicos de ácido acético cristalizado con 10 volúmenes de un líquido B formado por 50 gramos de nitrito sódico en 100 centímetros cúbicos de agua. La mezcla del líquido potásico y el reactivo se mantiene a 37° durante 16 horas. Se filtra en filtro tarado y se lava muy bien, primero con ácido acético diluido y después con alcohol. Se seca en la estufa a 100° y sin calcinar se pesa el precipitado. Se tendrá el peso del potasio multiplicando por el factor 0,31229 para la potasa (1).

En vez de usar el filtro tarado se puede emplear el filtro sencillo, y en cuanto esté lavado el precipitado arrastrarlo con agua a un matraz; se añade permanganato potásico (disolución 1/10 normal en exceso); se agrega ácido sulfúrico y después una disolución 1/10 normal de ácido oxálico que se corresponda con la 1/10 normal de permanganato, y por los centímetros cúbicos consumidos de la disolución de ácido oxálico sabremos los que habíamos añadido de más de la de permanganato y, por tanto los que había consumido la disolución. Multiplicando por el factor correspondiente se deducirá la potasa.

Procedimiento por el potasímetro.—Valiéndose en

(1) Este procedimiento fué empleado en la Escuela de Minas por el Ingeniero Sr. Menéndez y Puget.

principio de la reacción anterior el Sr. Menéndez Puget (1)

ha inventado un aparato que da con gran rapidez la dosis de potasa contenida en una muestra y que se ha utilizado con gran éxito en el laboratorio del Instituto Geológico de España en los ensayos industriales que se han hecho con motivo de los trabajos de investigación realizados en la cuenca catalana.

El aparato consiste en un tubo T (fig. 17) de muy pequeño diámetro que tiene en la parte inferior una llave A y está terminado en la superior por un ensanchamiento B, de una capacidad de unos 50 c. c. El tubo está divi-

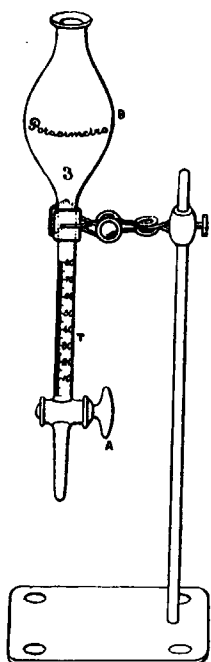


Fig. 17.

Potasímetro Menéndez Puget

dido, a partir de la llave, en ocho divisiones grandes, es-

(1) Trabajos e investigaciones de laboratorio referentes a las sales potásicas de Cataluña.

tando subdividida cada una de ellas en 10 pequeñas, a cada una de las cuales corresponden alrededor de 2,5 miligramos de potasa, según la graduación de cada aparato.

Si se trata por ejemplo, de determinar la potasa en una carnalita, se disuelven 0,500 gramos en una pequeña cantidad de agua, se filtra y se hace un volumen inferior a 30 centímetros cúbicos. Se introduce esta disolución en el aparato y se añade una mezcla de 6 centímetros cúbicos de la disolución acética de nitrato cobáltico y 9 de la de nitrito sódico. Como la reacción es bastante violenta, por el gran desprendimiento de ácido nitroso, se añade el reactivo con precaución, para evitar proyecciones. Enseguida empieza la formación del precipitado, y para favorecer esta precipitación y evitar la formación de burbujas, al cabo de media hora (en el transcurso de la cual se ha desprendido casi todo el ácido nitroso) se agita varias veces y enérgicamente el aparato, se deja en reposo durante 10 horas, pasadas las cuales se vuelve a agitar, dejando que se apose bien el precipitado, y se verifica la lectura. Multiplicando el número de divisiones pequeñas por el factor que acompaña a cada aparato, se tendrá la potasa contenida en el medio gramo de carnalita.

Teniéndolo bien limpio y agitándolo con frecuencia, no queda nada de precipitado adherido a las paredes del ensanchamiento B.

El factor se ha determinado tratando en el aparato disoluciones de distintas concentraciones de cloruro potásico recrystalizado, a las cuales se añaden cantidades variables de cloruro magnésico, aunque se ha comprobado que éstas no tienen sensible influencia sobre el volumen del precipitado.

Si se tratara de determinar la potasa en un agua poco mineralizada, se opera sobre una cantidad bastante gran-

de de ella, evaporando hasta llegar a un volumen inferior a 30 centímetros cúbicos y siguiendo en la forma anteriormente indicada.

Sobre un agua procedente del nacimiento de los manantiales de Alhama (Murcia), ejecutando el ensayo sobre 200 centímetros cúbicos se ha obtenido un resultado de 0,136 gramos, y por el procedimiento del cloruro platínico 0,143. Hemos indicado anteriormente que la disolución ha de estar exenta de anhídrido fosfórico.

No se trata de un método de precisión, pero sí de gran utilidad en aquellas determinaciones en que a la rapidez puede sacrificarse un poco la exactitud. Se puede considerar que el error nunca llega al 1 %.

Análisis del silicato de potasa.—Cuando la sal que se quiere analizar es el silicato de potasa insoluble, se mezcla un gramo del mineral con 6 de carbonato cálcico y medio de cloruro amónico en un crisol de platino y se pone a la llama de un mechero o en un horno al color rojo sombra, y cuando se aglutine sin llegar a fundir (próximamente una hora) se transforman los silicatos en cloruros. Se echa el crisol en una cápsula de porcelana con unos 300 centímetros cúbicos de agua; se pone al baño maría y se va renovando el agua y destacando lo adherido al crisol, y se tiene así unas dos horas; después se filtra y en el líquido está en disolución la potasa, que después se puede analizar por cualquiera de los procedimientos que acabamos de describir.

Análisis completos de las sales potásicas.—Un análisis completo de sales potásicas exige la determinación cuantitativa de varias sustancias. Nosotros consideraremos una muestra normal en la que se encuentran las im-

purezas que generalmente se presentan en la práctica. Las determinaciones de las diferentes sustancias se suelen hacer del modo siguiente:

Residuo insoluble.—Se disuelve la muestra en agua destilada y se hierve la solución durante una hora. Se filtra y se pesan los residuos insolubles.

Humedad.—La muestra es salpicada y completamente cubierta con cal viva, previamente pesada. Se le somete después a la calcinación y se pesa nuevamente. La pérdida es agua, porque la cal evita la pérdida de ácido clorhídrico.

Cloro.—Se disuelve la muestra y se toma un número determinado de centímetros cúbicos de la disolución bastante diluida y se le añade unas 10 gotas de cromato potásico, y se trata con una disolución 1/10 normal de nitrato de plata por el procedimiento volumétrico.

Acido sulfúrico.—Se emplea el cloruro de bario en la forma que ya hemos indicado anteriormente.

Cal.—Se precipita en forma oxalato cálcico, tratando la disolución por el oxalato amónico. Para ello se añade a la disolución cloruro amónico para que no se precipite la magnesia; se agrega después amoníaco, se pone a hervir y se añade unos 20 centímetros cúbicos de oxalato amónico al 10 % hirviendo y se deja reposar; se lava bien con agua amoniacaal, se filtra, se calcina y se pesa. Si hay mucho precipitado se arrastra con agua amoniacaal a un matraz, se disuelve en ácido sulfúrico y se trata con la disolución 1/10 normal de permanganato. También se usa tratado con unas gotas de ácido sulfúrico, se calcina en crisol de cuarzo y se pesa el sulfato.

Magnesia.—Al líquido filtrado que abandonó la cal se le añaden unas gotas de ácido clorhídrico y después unos 25 centímetros cúbicos de fosfato sódico. Se agrega amo-

niaco, se agita y se deja reposar el precipitado 24 horas; se filtra y se disuelve el precipitado en ácido clorhídrico para volverse a precipitar en la misma forma. Se filtra, se calcina y se pesa.

Potasa.—Después se determina la potasa por los procedimientos indicados, y la sosa se determina por diferencia.

Síntesis.—De la totalidad de ácido sulfúrico se resta la cantidad de esta sal combinada con la cal. El sodio se suprime todo él combinado con el cloro, y después se reparte la magnesia y la potasa entre el ácido sulfúrico y el cloro.

Análisis especiales. Determinación del ácido nítrico.—Para determinar este ácido, caso que se puede presentar en determinadas muestras potásicas, se hace primero un ensayo cualitativo con brucina, para lo cual se disuelve un poco de brucina en ácido sulfúrico que se añade en un tubo de ensayo al líquido que se analiza y tomará el líquido un color rosado que pasará enseguida a amarillo limón si hay ácido nítrico. Si resulta de este ensayo cualitativo que lo hay, se pone en un balón de 1.500 centímetros cúbicos una cantidad de disolución tal que no pase de $\frac{1}{2}$ gramo la cantidad de nitrato que contenga. Se agrega un poco de alcohol una cucharadita de sulfato ferroso, dos de zinc en polvo y unos 60 centímetros cúbicos de una disolución concentrada de sosa. Se calienta primero a fuego bajo y después se va aumentando la temperatura, sosteniendo la destilación durante una hora sobre un matraz con una disolución graduada de ácido sulfúrico. El amoníaco que destila contrarresta parte de la disolución del ácido y se ve el sobrante con una disolución graduada de sosa. De la cantidad de amoníaco desti-

lada se deduce la de nitrógeno y, por lo tanto la del ácido nítrico.

Determinación cualitativa del boro.—La disolución que se ensaya se echa en una cápsula con alcohol que se inflama en cuarto oscuro, y por el color de la llama se ve si hay boro.

PROCEDIMIENTOS GEOFÍSICOS DE INVESTIGACIONES

Generalidades.—Los estudios de la corteza terrestre han puesto de manifiesto que los fenómenos físicos de la tierra sufren variaciones y alteraciones según la naturaleza y constitución de los materiales que la forman. La densidad, la conductividad magnética y eléctrica, la elasticidad, la radioactividad, el grado geotérmico, son propiedades que varían según sean los componentes de las capas terrestres. Es pues lógico y natural que el progreso humano haya pensado en sacar partido de estas propiedades para deducir la naturaleza y constitución de nuestro Globo.

Anomalías de la gravedad, en cuyo cálculo la geofísica llega a límites que apenas se pueden concebir, han servido para idear la balanza de torsión que constituye un precioso método de investigación de masas minerales.

Las diferencias en el magnetismo han dado motivo a la invención de magnetómetros, empleados ya en Suecia a mediados del siglo XIX, y modernamente de los variómetros que tanto éxito ahora tienen para el reconocimiento de muchas clases de minerales.

En la diferente conductividad eléctrica de las distintas

masas rocosas y minerales se fundan los procedimientos eléctricos en la investigación de criaderos y para cuya aplicación se han creado sociedades importantes.

También se aplica con éxito a la investigación de yacimientos minerales, los procedimientos fundados en las diferencias de propagación de las sacudidas de un sismo preparado artificialmente, por presentar muy diversa elasticidad los materiales de la corteza terrestre.

Las diversas radiaciones y emanaciones radioactivas de la superficie terrestre pueden dar como resultado el descubrimiento de determinadas sustancias e indirectamente la determinación de la presencia y posición de fallas, grietas filonianas, etc. No creemos que se hayan aplicado estos procedimientos a la investigación de criaderos potásicos y por consiguiente no nos ocuparemos de ellos, pero conviene hacer resaltar que últimamente de los estudios de Zwaardemaker en 1918, de Stoklasa y de otros, parecen deducir que las sales potásicas son algo radioactivas.

Por último el grado geotérmico sufre variaciones importantes según la naturaleza y constitución de los terrenos que forman la parte más externa de la corteza terrestre y para cuyo estudio se fabrican equipajes térmicos de alta precisión.

Es cierto que todos estos procedimientos no están consagrados aún de un modo completo por la práctica, y más bien lo que se ha hecho hasta ahora han sido verificaciones y pruebas, pero los resultados obtenidos parecen demostrar claramente que se puede esperar mucho de ellos para el reconocimiento de criaderos y que aunque no creemos que se pueda eliminar el costoso medio de investigación por sondeos, por lo menos se podrá ahorrar mucho su empleo.

Uno de los puntos más difíciles en la aplicación de los procedimientos geofísicos es la elección del método a emplear en la zona que va a ser objeto de la investigación. En muchos casos convendría aplicar varios de ellos para que se complementen y den una solución más perfecta al problema planteado.

Según los estudios de las casas especialistas parece ser que los procedimientos gravimétricos y magnéticos son los de más aplicación en la investigación de masas salinas. El primero por la gran diferencia de densidad entre las sales sódicas y potásicas y las rocas que las encierran, y el segundo por las grandes diferencias de permeabilidad magnética que existen en las zonas salinas. Sin embargo, los procedimientos sísmicos también pueden dar buenos resultados en la investigación de criaderos salinos, sobre todo en el cruzamiento de pliegues y que forman esas cúpulas salinas tan frecuentes y que tienen ejemplos bien notables en Cardona, Suria y Oló.

Los procedimientos eléctricos que son los que, a nuestro juicio, están más en período de estudio, también se aplican en la investigación de criaderos salinos y, sobre todo, en ciertos problemas que se pueden plantear en la explotación de sales potásicas, como en el origen de las avenidas de agua, etc.

En la cuenca potásica de Cataluña se han hecho investigaciones geofísicas según los procedimientos gravimétricos y magnéticos, y de ellos daremos cuenta en el lugar oportuno.

Los estudios geofísicos tienen que ir unidos a los geológicos, y sin la interpretación por geólogos de las observaciones hechas por los aparatos geofísicos, de nada servirían éstas. Es más, antes de proceder a la investigación geofísica se hace preciso un estudio geológico completo

del terreno, con el planteamiento claro del problema que se quiere resolver. Ese estudio geológico además servirá de guía para la elección del procedimiento a seguir, de la forma y orden de hacer las observaciones, etc. Una vez hechas, vuelve otra vez el geólogo a interpretar los resultados y sólo con esa compenetración entre el geofísico y el geólogo se podrá encontrar la solución al problema planteado.

No entraremos en este libro en el estudio completo de los procedimientos geofísicos de investigación de yacimientos minerales porque nos llevaría demasiado lejos y porque exige una especialización y competencia que no poseemos; únicamente haremos una descripción somera de los aparatos que parece tienen éxito mayor, y daremos unas ligeras ideas acerca de su manejo y especialmente nos ocuparemos de su aplicación a la investigación de masas salinas.

Procedimientos gravimétricos.—Entre los procedimientos gravimétricos ocupa lugar preferente el que emplea la balanza de torsión ideada por el barón von Eötvös, y cuyo principio es el siguiente: Si al extremo de un hilo de platino e iridio de 0,04 milímetros de espesor se coloca un tubo en posición horizontal, provisto en sus dos extremos de pesos de 28 gramos, y se separa este tubo de su posición de equilibrio, la fuerza de torsión del hilo hará que tienda a recuperarla, produciendo una serie de oscilaciones horizontales. La fuerza de torsión del hilo es tan pequeña que fácilmente la vencerán las más insignificantes fuerzas exteriores, que conseguirán sacar el tubo de su posición de equilibrio. Por estar resguardado el hilo y tubo de las corrientes de aire y de los cambios bruscos de temperatura, la torsión del hilo sólo es capaz de produ-

circa la acción de las fuerzas de la gravedad. Por consiguiente, la finalidad de la observación consistirá en determinar la situación que ocupará el brazo en su posición de equilibrio respecto a la caja, con referencias fijas, que la contiene, para diversas posiciones. Para la determinación de la posición del tubo basta unirle un espejo y colocarlo a la caja, en posición fija, un anteojo con escala o una placa fotográfica en donde quede registrada la posición de equilibrio.

Si la superficie de nivel de la gravedad en cada punto fuese esférica, las fuerzas de la gravedad serían iguales y paralelas, quedando contenidas en el plano determinado por el brazo y el hilo y sin producir torsión alguna en éste, ya que la resultante de todas ellas actuando en el centro de gravedad del brazo quedaría contrarrestada por la tensión del hilo. Como consecuencia de la forma general de la tierra, y a causa también de la presencia de masas perturbadoras situadas por encima y debajo de la superficie terrestre, las fuerzas de la gravedad ni son iguales ni son paralelas y la superficie de nivel en cada punto se separará más o menos de la forma esférica. El efecto de estas fuerzas es equivalente a una sola que actúa en el centro de gravedad y que será equilibrada por la tensión del hilo y a un par de fuerzas cuyo plano es perpendicular a la fuerza única y que produce el giro del tubo y la torsión del hilo.

Si ahora consideramos la superficie de nivel que pasa por el punto de suspensión del tubo, todos los planos que pasando por este punto contengan a la normal a la superficie de nivel en él, cortarían a ésta según curvas. De los infinitos planos que reúnen esta condición, son singularmente importantes dos perpendiculares entre sí y que en sus secciones con la superficie de nivel contienen los ra-



dios mayor y menor de curvatura entre todos los existentes en las infinitas secciones. Se denominan estas secciones: *secciones principales* y sus radios de curvatura, *radios de curvatura principales*.

Ahora bien, si por medio del giro de conjunto del aparato se llevan el tubo y el hilo a estos dos planos especiales, conseguirán su posición de equilibrio sin experimentar torsión el hilo porque las fuerzas de gravedad en los extremos del tubo actúan en el plano que contiene el tubo y a la dirección de la gravedad en su centro, o sea sólo verticalmente, es decir, sin que aparezca ninguna componente horizontal. En cualquier otra orientación que no sea la de estos planos principales se producirá una torsión en el hilo y la desviación de este hilo se puede ocasionar en el sentido de las agujas de un reloj, o en sentido contrario, según la orientación del instrumento.

Por consiguiente, en cada sitio de observación para cada azimut la fuerza de la gravedad originaría en el tubo una desviación distinta con relación a la escala fija de la caja y la medida de estas desviaciones proporciona los datos para poder deducir matemáticamente algunas particularidades de la superficie del nivel. Se llega en el cálculo a fórmulas en las cuales se presentan tres incógnitas que con las derivadas segundas determinan la función de fuerzas en el campo gravífico-terrestre con relación a tres ejes coordenados. Esto exige lecturas en el instrumento en tres azimutes distintos para plantear tres ecuaciones y resolver las tres incógnitas. Conocidas las incógnitas, se conoce la diferencia de los inversos de los radios de curvatura, o sea lo que en el punto considerado difiere la superficie de nivel de la forma esférica. También se determina la dirección de las secciones principales.

La forma sencilla de hilo y tubo con contrapeso fué la

forma primitiva esquemática del primer aparato de Eöt-vös. Después la modificó constituyendo su aparato el variómetro horizontal. No existe más diferencia con el primer modelo en que el peso pende de una de las extremidades del tubo por medio de un hilo delgado metálico de unos 60 centímetros de longitud. Así se consigue medir en dos direcciones perpendiculares entre sí lo que se llama *el gradiente horizontal* de la gravedad. El gradiente nos indica en qué proporción varía la gravedad para un centímetro de desplazamiento en sentido horizontal. Resulta como consecuencia, que si consideramos un punto en una superficie de nivel en que la intensidad de la gravedad sea g y si tomamos tres ejes coordenados (x, y, z) , las derivadas

$$\frac{dg}{dx}, \frac{dg}{dy} \text{ y } \frac{dg}{dz}$$

indicarán las variaciones de la gravedad en la dirección de cada uno de los ejes coordenados.

Hay una dirección s en que la variación de la gravedad es máxima; ésta es precisamente la dirección del gradiente en dicho punto y en cuanto a su magnitud, es lo que aumenta g en dinas, cuando nos separamos un centímetro del punto en la dirección s , o sea la derivada de g con relación a s , $\frac{dg}{ds}$. El gradiente pues, se representa por un vector que arranque del punto de la dirección s y cuya longitud sea proporcional a $\frac{dg}{ds}$.

Supongamos que el brazo de la balanza está dirigido de Este a Oeste, que el peso colgante esté en el extremo Este del tubo y que la fuerza de la gravedad varíe sólo en dirección S.-N., aumentando en este sentido que sería el caso si la forma de la Tierra fuese la de un elipsoide de revolución.

Las superficies de nivel que pasan por los centros de gravedad m_1 y m_2 no son paralelas y como se demuestra que las distancias entre dos superficies de nivel próximas, medidas en la dirección de la normal, varían en razón inversa de la fuerza de la gravedad, la separación de las superficies disminuirá en dirección Norte. Las fuerzas de la gravedad en m_1 y m_2 tienen direcciones distintas (como está indicado en la figura 18) g_1 y g_2 . Resulta, por tanto, que la última respecto a la primera tiene una componente horizontal $m_2 H$, cuya longitud es proporcional al ángulo de las dos direcciones g_1 y g_2 , o sea al ángulo que forman entre sí las dos superficies de nivel. Este ángulo y por consiguiente la componente $m_2 H$ indica en qué proporción disminuye en la unidad de longitud, contada en la dirección Norte la separación entre las superficies de nivel o sea lo que aumenta en esa dirección por unidad de longitud la fuerza de la gravedad, que es precisamente el gradiente horizontal en ese sentido.

La componente horizontal $m_2 H$ produce un giro del brazo de la balanza en sentido contrario a las agujas de un reloj que es, por consiguiente, proporcional al gradiente horizontal. Si se gira el brazo A 180°, de manera que el

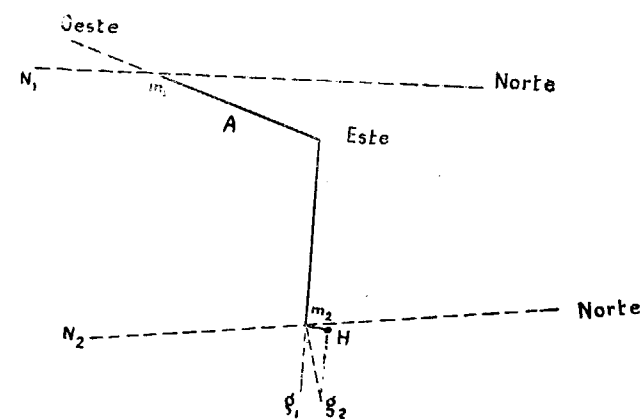


Fig 18.

peso penda del extremo Oeste, el giro se producirá en dirección contraria, y se calculará el gradiente del mismo modo con el dato de la diferencia de situación del brazo A en ambas posiciones. Si se coloca ahora en la dirección Norte y después en la dirección Sur, se obtendrá el gradiente en la dirección Este-Oeste, en el caso que exista producido por la presencia de *masas perturbadoras*.

Se pueden calcular con la segunda forma de balanza las magnitudes siguientes: diferencia de los inversos de los radios principales de curvatura, dirección de las secciones principales y gradientes horizontales de la gravedad en dos direcciones perpendiculares entre sí.

Eötvös establece como expresión del momento F del par de torsión en la segunda forma de balanza, la siguiente fórmula:

$$F = K \frac{\sin 2\alpha}{2} \left(\frac{d^2 U}{dy^2} - \frac{d^2 U}{dx^2} \right) + K \cos 2\alpha \frac{d^2 U}{dx dy} - m h l \sin \alpha \frac{d^2 U}{dx dz} + m h l \cos \alpha \frac{d^2 U}{dy dz}$$

o su similar

$$n - n_0 = D \frac{K \sin 2\alpha}{\tau} \left(\frac{d^2 U}{dy^2} - \frac{d^2 U}{dx^2} \right) + 2 D \frac{K \cos 2\alpha}{\tau} \frac{d^2 U}{dx dy} - 2 D \frac{m h l \sin \alpha}{\tau} \frac{d^2 U}{dx dz} + 2 D \frac{m h l \cos \alpha}{\tau} \frac{d^2 U}{dy dz}$$

en las que

l longitud del semibrazo de la balanza.

h distancia del centro de gravedad del contrapeso m al punto de suspensión del mismo.

m peso en gramos del contrapeso.

n la lectura en unidades de la escala de la posición de equilibrio de la balanza.

n_0 la desconocida que corresponderá al caso en que

el hilo de suspensión no estuviese sometido a ningún esfuerzo de torsión.

D distancia del espejo a la escala.

K momento de inercia de la balanza.

τ coeficiente de torsión.

α ángulo que forma el eje del tubo con el de las x .

U función de fuerzas ligada con los radios de curvatura principales.

x, y, z ejes coordenados.

Puesto que hay cinco incógnitas n_0 y las cuatro derivadas es preciso efectuar medidas en cinco posiciones distintas para obtener un sistema resoluble de cinco ecuaciones con cinco incógnitas.

En la doble balanza de Eötvös-Schweydar montada en un mismo soporte con brazos paralelos y contrapesos colgantes en direcciones opuestas, quedan reducidas las mediciones precisas para el cálculo de las incógnitas que nos interesan a las correspondientes a tres azimutes.

Una vez obtenidos los gradientes horizontales de la gravedad en dos direcciones perpendiculares $\frac{d^2 U}{dx dz}, \frac{d^2 U}{dy dz}$

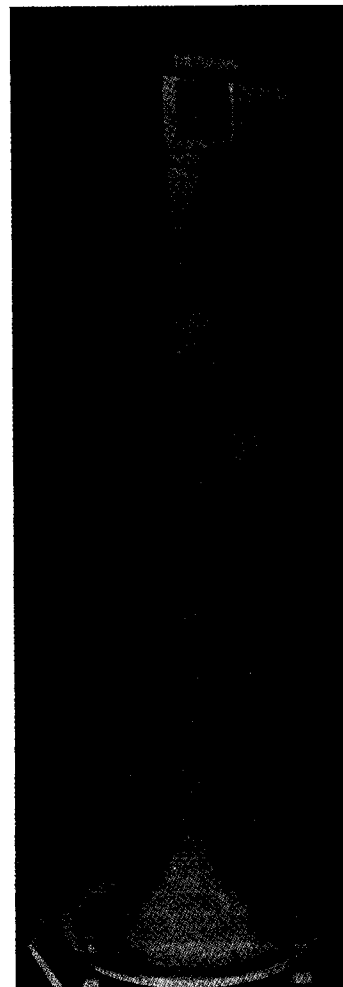
según el eje de las y y según el eje de las x , puede deducirse el *gradiente máximo horizontal* y su dirección, o sea determinar en qué dirección y en cuánto la fuerza de la gravedad tiene un máximo de aumento o disminución. La balanza es tan sensible que se pueden determinar las magnitudes con una aproximación de 1×10^{-9} centímetro-gramo-segundo. El Instituto Geográfico y el Instituto Geológico de España han adquirido cada uno, una balanza de Eötvös-Schweydar, la del primero está designada con la letra Q y la del Geológico con la letra S . Ambas son idénticas y a continuación hacemos su descripción.

Está constituida por tres partes, de las cuales la supe-

rior es la importante. Estas partes para el transporte se separan. La parte inferior está dispuesta para la nivelación y el encaje de las partes superiores. Está constituida por una columna hueca y provista de tres tornillos nivelantes d y de un volante e , que acciona sobre un manguito que sirve para el encaje de la parte media unida al eje general de giro del instrumento. En la fot. I se pueden ver estas dos partes unidas.

Ajustado al extremo superior del eje va un platillo de aluminio f que lleva encima un aparato de relojería m que por medio de una rueda dentada engrana con una corona dentada fija situada debajo del platillo sobre un disco que se puede a voluntad hacer solidario del platillo accionando unas palancas p . El aparato de relojería es susceptible de embragarse o desembragarse de la corona manipulando un botón n . Convenientemente espaciados sobre el disco de la corona existen 10 tornillos-topes que al ser atornillados tropiezan con unos trinquetes accionables que producen la detención del movimiento automático de giro. Los topes están dispuestos para parar el movimiento de giro en tres, cuatro o cinco posiciones en una vuelta completa. Por medio de un electro-imán que hay en el aparato de relojería y con el concurso de un reloj eléctrico de contactos, visible en la fot. IV, se produce la separación automática del trinquete y el giro suave y lento del instrumento, dejando a la balanza un período de una hora para cada azimut para que tome la posición de equilibrio que le corresponda.

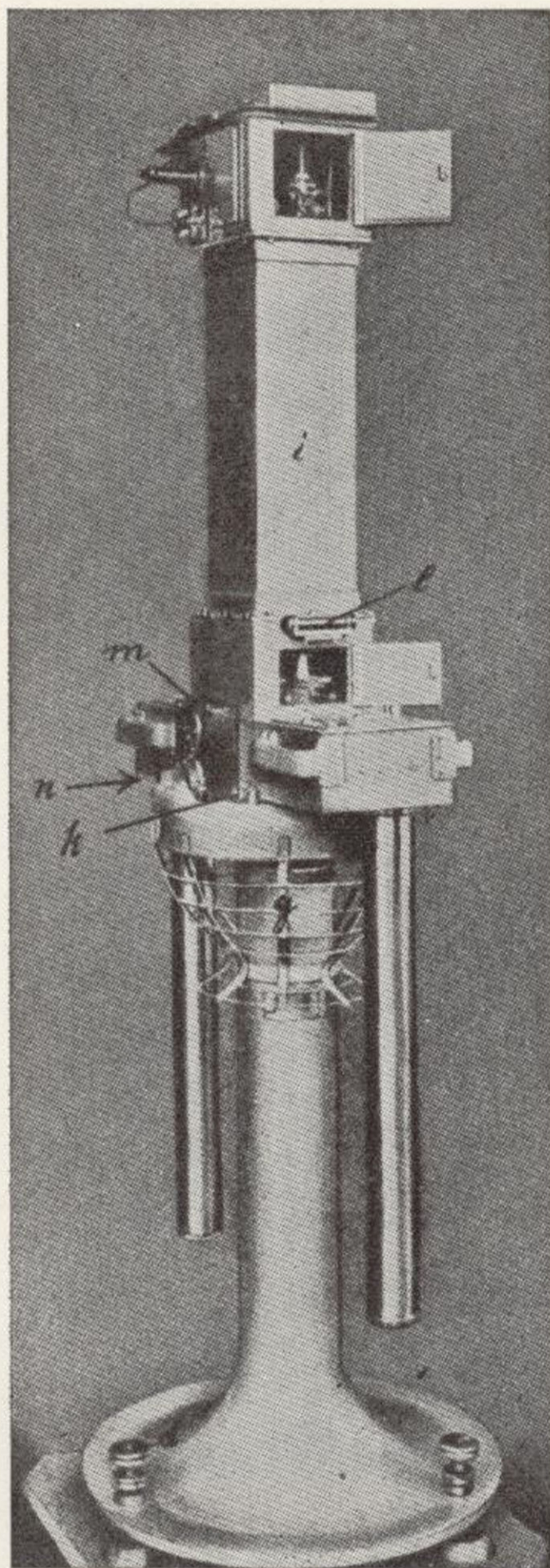
El cuerpo superior i contiene las dos balanzas de que consta el aparato y la disposición óptica para su observación. A dicho cuerpo se atornillan los tubos de triple envoltura $t_1 t_2$. Los hilos de torsión son de platino con 10 % de iridio y son envejecidos artificialmente. Su diá-



Balanza de torsión Eötvös-Schweydar

Fot. I

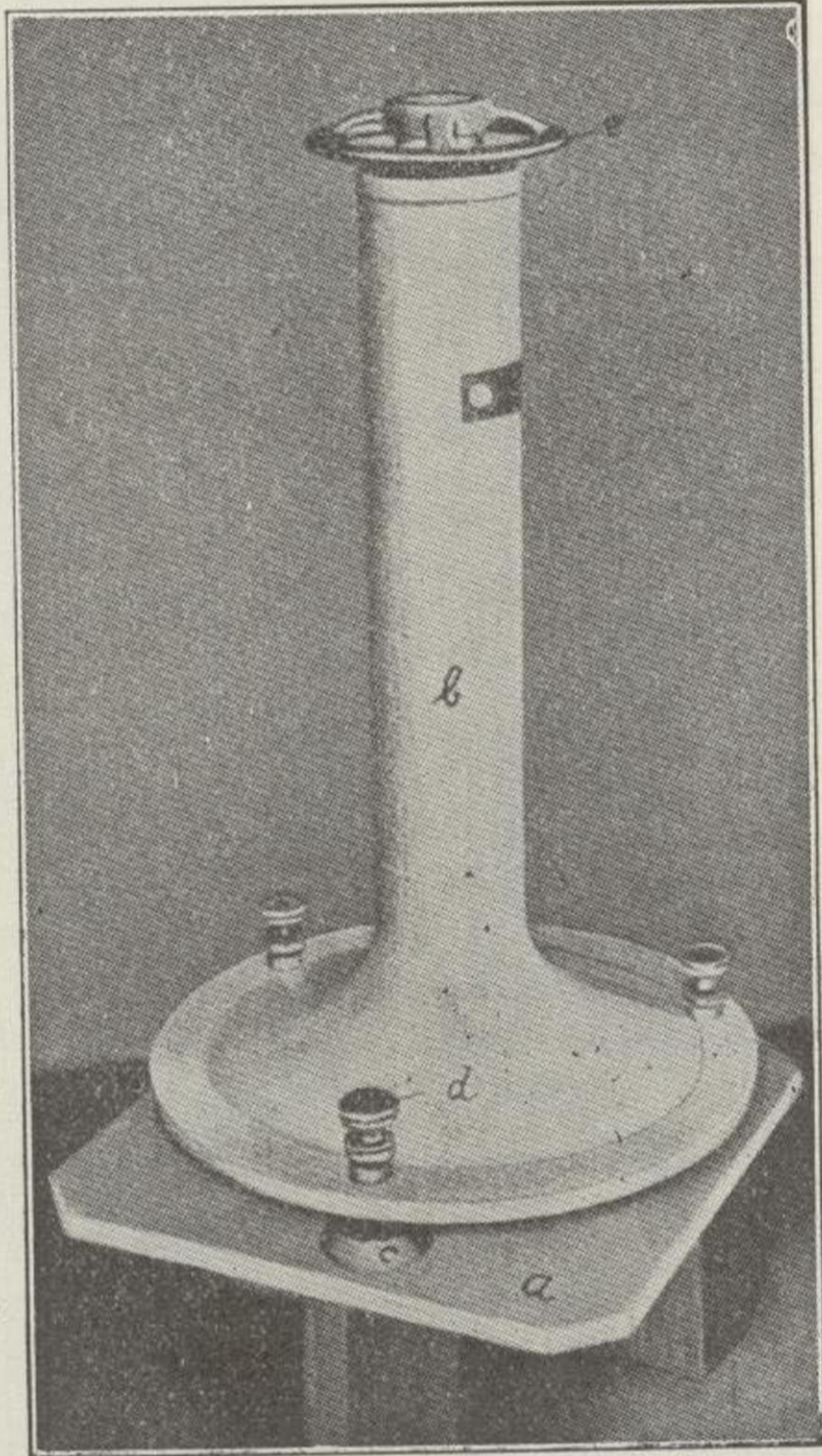




Balanza de torsión Eötvös-Schweydar

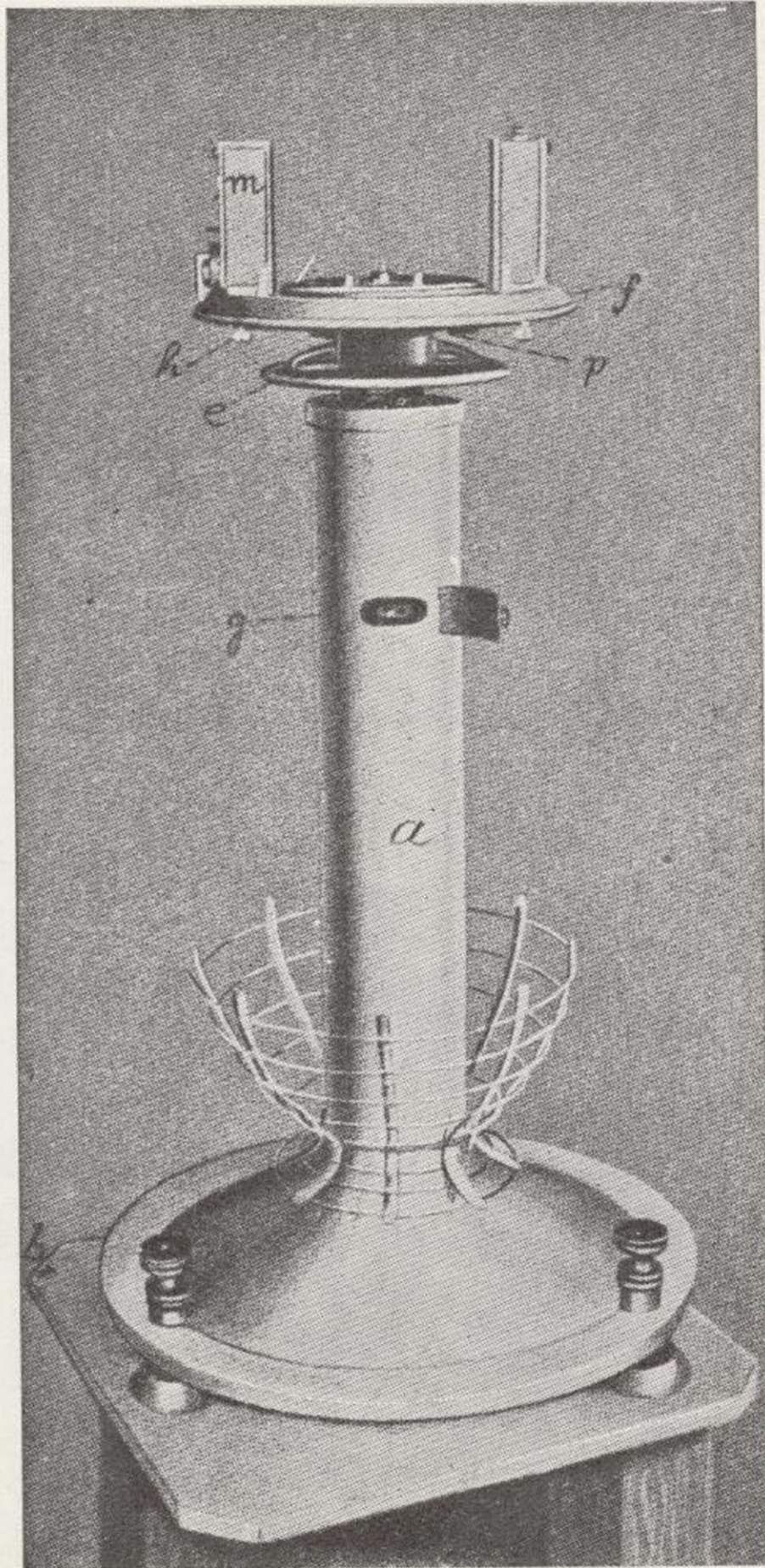
Fot. I





Balanza de torsión Eötvös-Schweydar
Fot. II

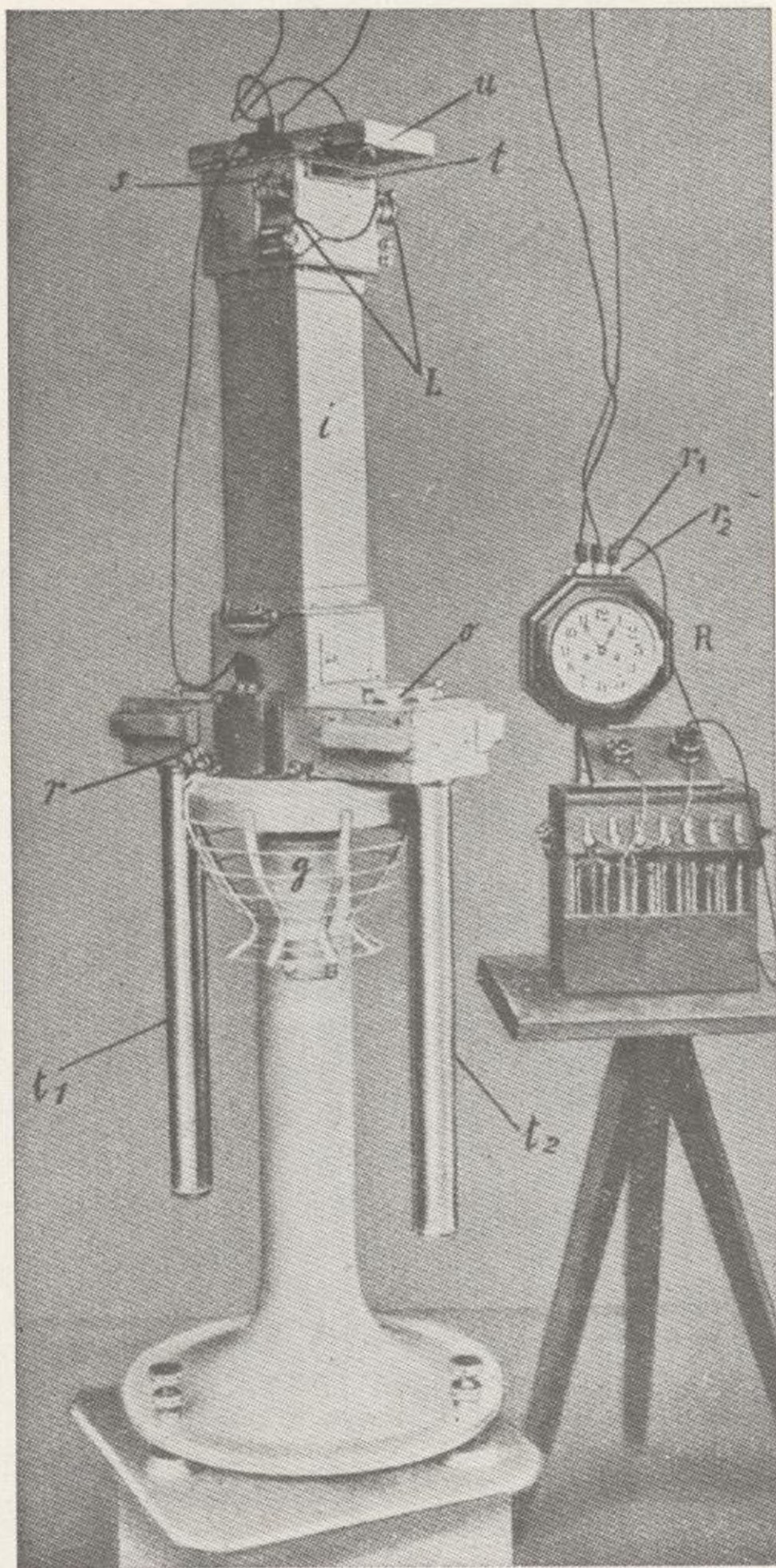




Balanza de torsión Eötvös-Schweydar

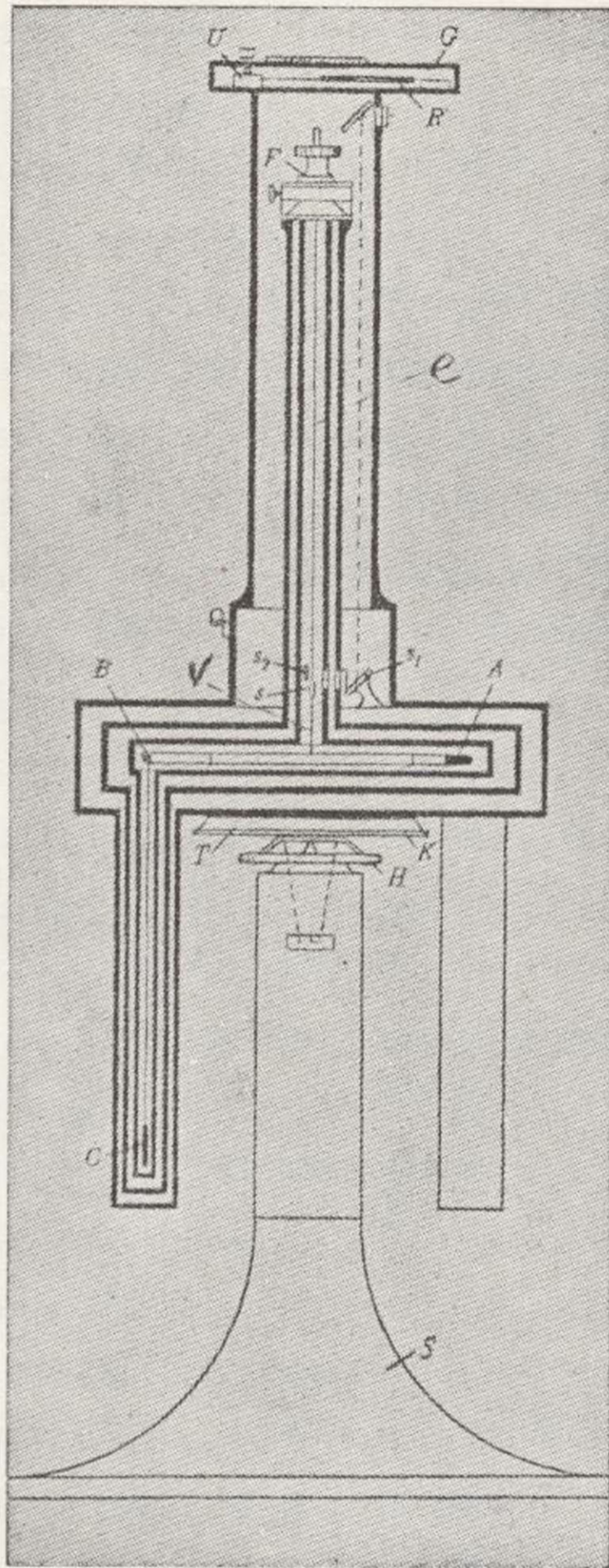
Fot. III





Balanza de torsión Eötvös-Schweydar
Fot. IV





Balanza de torsión Eötvös-Schweydar
Fot. V



metro es de 0,04 milímetros. De cada hilo *e* pende el brazo de palanca correspondiente, que es un tubo de aluminio *B* de 40 centímetros de longitud al que va unido una varilla *V* donde va fijo un espejo rectangular *S*. De un extremo del tubo pende un alambre de cobre de 62 centímetros con un peso al final de plomo de 30 gramos. En el otro extremo del tubo, actuando de contrapeso, va unido un cilindro horizontal de oro, también de 30 gramos.

El brazo horizontal de cada balanza se mueve dentro de una cámara de oscilación cuyo fondo, movable en sentido vertical está constituido por una plancha metálica que apoya sobre dos excéntricas acopladas que puede accionarse girando en uno u otro sentido el botón *V*. Cuando se remonta el fondo tropiezan con unos travesaños que van montados en los extremos de cada brazo y se detiene la oscilación de la palanca. En esta posición se efectúa el transporte del aparato. Los hilos van soldados a dos plaquitas con ranuras que se fijan con tornillos a una cabeza de torsión y al extremo superior de la varita vertical del brazo. Las cabezas de torsión son susceptibles de cuatro movimientos.

La observación de los ángulos de torsión se hace por registro fotográfico sobre la parte superior del instrumento. Se mide el ángulo observando la longitud que se separa el hilo de su posición primitiva a una distancia determinada del punto de suspensión del hilo; y por consiguiente, se reduce el problema a medir una longitud. Esta medida se puede efectuar directamente sobre una escala o sobre una placa fotográfica en la forma que a continuación indicaremos.

Rayos de luz cayendo sobre la escala o sobre la placa son los que sirven para medir los ángulos. La luz está producida por dos lamparitas eléctricas, una para cada

balanza. La luz es transmitida por un prisma de reflexión total a un sistema de espejos. Dos de ellos S_1 reciben la luz del prisma y la envían a dos espejos uno situado en el mismo hilo de la balanza S y otro fijo a la envolvente interior S_2 y que sirve como punto de referencia con relación al otro que es el que acusa la torsión. Vuelven los rayos a los espejos S_1 y de allí pasan a voluntad, merced a un espejo movable que se acciona con un botón, o a la escala t o a la placa fotográfica que se coloca en posición horizontal y en la parte más alta del aparato, en la caja u . Uno de los espejos fijos a la envolvente interior de una de las dos balanzas está unido a una placa bimetálica de cobre y hierro y sirve para denotar las temperaturas que es preciso tener en cuenta en el cálculo de la torsión. El espejo fijo de la otra balanza es el de referencia.

Las imágenes de los cuatro puntos luminosos se proyectan en una misma línea horizontal para cada observación que se hace de hora en hora, y como es preciso hacer observaciones para cada azimut de los tres en que automáticamente se coloca la balanza, la placa tiene un movimiento horizontal de 3 milímetros por hora, proporcionado por un aparato de relojería. Con la separación de las imágenes de la placa proporcionada por este movimiento se puede apreciar bien las imágenes en cada observación y estar todas reunidas en una misma placa y repetir la serie de los azimuts dos o tres veces y así servir de verificación de que la observación está bien hecha.

Un reloj está dispuesto para enviar corriente a la lámpara durante un minuto cada hora, el último de la misma; con objeto de que en los 59 restantes la balanza se halle parada y marque bien la torsión para cada azimut.

Existen además una batería de acumuladores para dar la corriente, varios enchufes, una brújula para colocar la

balanza en la primera posición, o sea en la dirección del Norte astronómico, y una armadura de alambre g , sobre la que se monta una cubierta aisladora, de pluma de ganso, que se fija con presillas alrededor del cuerpo superior y de los tubos t_1 y t_2 .

Respecto a la montura del aparato y funcionamiento, a continuación transcribimos lo que sobre el particular manifiesta el Ingeniero del Instituto Geográfico Sr. Sans Hue- lin operador sumamente especializado en el empleo de este aparato. Las operaciones necesarias para la instalación de la balanza en una estación en el campo son:

1.^a Se escoge el punto para estacionar, de modo que en un radio de dos metros, el terreno sea aproximadamente llano. Si la pendiente de éste fuese fuerte por necesidad, se remueve la tierra hasta allanar el terreno, teniendo después cuidado de apisonarlo bien.

2.^a En el punto O , centro de la estación, se coloca una plantilla de aluminio (fig. 19), clavando en este centro un piqueta y comprobando la horizontalidad de dicha plantilla con un nivel de carpintero. Se coloca una brújula (la del aparato sirve) encima y se orienta la plantilla hacia el Norte astronómico. Se señala el sitio del terreno sobre el que cae cada uno de los agujeros de la plantilla, y una vez retirada ésta, se clava en cada uno una estaca, procurando introducirlas de modo que las tres caras superiores de las mismas determinen aproximadamente un solo plano horizontal que quede a unos 25 centímetros del terreno. Las estacas deben ser de sección cuadrada en su mitad superior y conviene tener juegos de distinta longitud para emplearlas según la consistencia del terreno. Sobre las estacas se coloca la plancha de aluminio a (Fot. II) que se acaba de nivelar con el nivel de carpintero.

3.^a Colocación de la columna b sobre la plancha a dis-

tribuyendo los tejos *c* sobre ésta de modo que vengan a caer encima de cada estaca.

4.^a Giro hacia la izquierda del volante *e*.

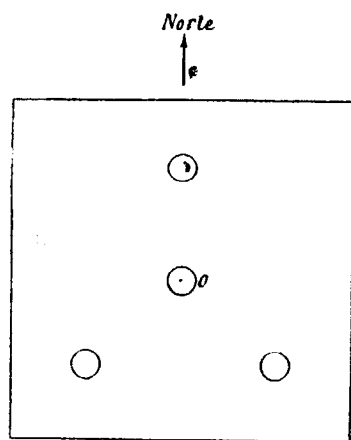


Fig. 19

5.^a Montura de la parte media *f*. (fot. III)

6.^a Giro a la derecha del volante *e*.

7.^a Apretar los tornillos-topes *h* indispensables para la detención del giro en los azimutes necesarios.

8.^a Colocación del cuerpo superior *i* y fijación del mismo con los cuatro tornillos *K*.

9.^a Atornillar los tubos *t*₁ y *t*₂. (fot. IV)

10. Probar si el instrumento gira suavemente. Regulación, en caso necesario, de dicho movimiento, accionando a través de la ventanilla *g* (fot. III) sobre un tornillo de graduación de la carga del eje sobre su rangua.

11. Nivelación del instrumento con el auxilio de los dos niveles *l* del mismo y los dos tornillos nivelantes de la base de la columna.

12. Orientación del instrumento. Con este fin se coloca la brújula *O* sobre su alojamiento correspondiente del cuerpo superior, y bajando el botón *n*, una vez dada la cuerda al reloj azimutal, se deja girar al aparato hasta su parada automática al llegar al tope 0°.

Se giran entonces hacia fuera las tres palancas *p* y se orienta al Norte astronómico asiendo con las manos al disco de la corona dentada. Concluida la orientación se vuelven a girar hacia dentro las tres palancas *p*.

13. Colgar los contrapesos de las balanzas. Para esto se quitan sucesivamente las tres cubiertas de las cámaras de oscilación para dejar al descubierto los extremos de los brazos de las balanzas. El alambre de cobre, del que pende el contrapeso, va soldado por el extremo opuesto a una horquilla que se engancha con una palanquita de forma adecuada y se encaja en una ranura que presenta el extremo del brazo de cada balanza.

14. Establecer las conexiones eléctricas y dar cuerda a los tres aparatos de relojería correspondientes al movimiento azimutal, al bastidor de la placa y al reloj de contactos. Respecto a este reloj, conviene advertir que sus agujas deben girarse siempre en el sentido de la marcha. Un giro en sentido contrario estropearía el mecanismo de los contactos.

15. Soltar las balanzas girando lentamente hacia la izquierda los botones *r* correspondientes hasta que encajen en sus seguros respectivos. Durante todo el movimiento de giro deben agarrarse bien los botones, toda vez que en su interior existen unos muelles, que producirían el retroceso rápido de los botones si éstos se soltasen antes de tiempo, originándose fácilmente la rotura de los hilos de platino. La misma precaución hay que tener cuando los botones se giren a la derecha para detener las balanzas.

16. Conectar con un alambre corto los dos reóforos *r*₁ y *r*₂ del reloj de contactos (fot. IV) para tener luz permanente en las lamparitas y observar la situación de los puntos luminosos sobre la escala. una vez girado el botón *s* que acciona al espejo hasta la palabra «visual», grabada en la envuelta exterior. La escala está dividida en milímetros y numerada en *unidades* (1/2 milímetros). Los cuatro puntos deben aparecer sobre las divisiones 53, 96, 144 y 180, contados de derecha a izquierda, mirando a la escala.

desde el Norte (fig. 20). La corrección de las imágenes, caso de no coincidir con estas divisiones, es operación prolija, por lo general, que exige el concurso de dos personas.

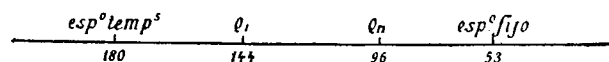


Fig. 20

17. Detener las balanzas, girar el botón *s* hasta la palabra «Photo» y cortar el circuito que da luz permanente a las lamparitas.

18. Colocar las cubiertas de pluma sobre las distintas partes del aparato, atornillando previamente la armadura de alambre *a*.

19. Comprobar, por última vez, la nivelación y después el buen funcionamiento del instrumento, a cuyo fin se pasa con la mano el minuterio del reloj a una hora exacta y se observa si el aparato gira de la posición I (0°) a la II (120°), y con otro giro de otra hora del minuterio, de la II a la III (240°). Al pasar el minuterio sobre el minuto 59 se enciende la luz de las lámparas durante el tiempo que tarda en recorrerse ese minuto, y conviene retardar un poco la velocidad con que se gire al minuterio al llegar a dicho minuto 59.

Una vez en la posición III se quita la cubierta superior *u* del aparato, se coloca un chasis con placa, se saca la corredera de éste, se vuelve a colocar la cubierta, se quitan las resistencias de las lámparas, caso de estar introducidas para la corrección de imágenes, y se bajan, por último, las balanzas.

Se vuelve a pasar con la mano otra hora del reloj, con lo que el aparato girará a la posición I y se anota enton-

ces la hora de un reloj de bolsillo. Durante una hora el aparato estará quieto, necesiándose ese tiempo para que las balanzas, sacudidas por el último giro, queden en reposo, y transcurrida dicha hora, automáticamente pasará el aparato a la posición II, habiéndose marcado sobre la placa cuatro puntos, correspondientes, como sabemos, a las dos balanzas, espejo fijo y espejo-termómetro, durante el minuto 59-60. Para distinguir unos de otros los puntos señalados por cada balanza, que pueden entrecruzarse con fuertes gradientes, pueden seguirse dos procedimientos. Uno consiste en introducir un poco de resistencia a una de las lámparas, con lo que los puntos correspondientes sobre la placa serán más débiles. Otros operadores emplean un diafragma en el objetivo con taladro de mayor diámetro para una de las balanzas, obteniéndose así puntos más gruesos. Es más recomendable el primer sistema.

Para desmontar el aparato se procede en orden inverso.

Hoy día en Inglaterra se construyen balanzas en las que se trata de facilitar su manejo con disposiciones más cómodas, como son la de variar la altura de la escala para que se lea con más comodidad, etc., pero ninguna de las modificaciones varía la parte esencial de la balanza Eötvös.

Cálculos.—Como en la balanza de Eötvös-Schweydar se hacen observaciones en tres azimutes distintos y seope-

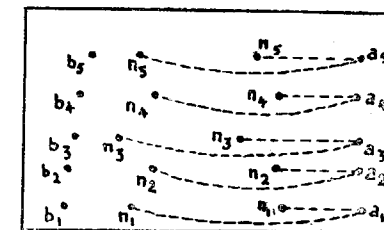


Fig. 21

ra con dos balanzas, hay datos sobrados para el cálculo de las cinco incógnitas. En la fig. 21 reproducción de una placa fotográfica se pueden medir los valores de n y n' en las tres posiciones y para las dos balanzas. Como en general estos valores no son grandes resulta que situado el observador al Norte del aparato en su posición inicial la balanza S_2 cae a su derecha y la S_1 a su izquierda, de modo que n será mayor que n' para todas las posiciones. Los puntos a_1 a a_3 indican los puntos de referencia fijos y los b_1 a b_3 indican los correspondientes a la corrección de las temperaturas, los n_1 y n'_1 indican las distancias correspondientes a las dos balanzas que se leen cuando la letra N que va grabada sobre una de las cubiertas de las cámaras de las balanzas del aparato está al Norte astronómico. Entonces el valor de a_1 de la fórmula vale 180° la balanza S_I y 0° en la S_{II} . Los valores n_2 y n'_2 indican las distancias correspondientes a las dos balanzas en la 2.^a posición o sea cuando está N en el azimut 120° entonces a_2 vale en la balanza S_I 300° , y 120° en la S_{II} y por último n_3 y n'_3 indican las distancias en la 3.^a posición o sea cuando N está en el azimut 240° y vale a_3 60° en la balanza S_I y 240° en la S_{II} .

Los valores n_0 y n'_0 que corresponden a la posición de ambas balanzas cuando no hay torsión de los hilos, son incógnitas de la ecuación.

$$\text{Ahora bien } n_0 = \frac{1}{3}(n_1 + n_2 + n_3) \text{ y } n'_0 = \frac{1}{3}(n'_1 + n'_2 + n'_3)$$

Si designamos ahora.

$$\begin{aligned} n_1 - n_0 &= \Delta_1 & n'_1 - n'_0 &= \Delta'_1 \\ n_2 - n_0 &= \Delta_2 & n'_2 - n'_0 &= \Delta'_2 \\ n_3 - n_0 &= \Delta_3 & n'_3 - n'_0 &= \Delta'_3 \end{aligned}$$

tendremos que forzosamente.

$\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0$ y $\Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 0$
y las fórmulas quedan reducidas a las siguientes para la determinación de las incógnitas:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 U}{dx dz} \times 10^{+9} &= U_{xz} = \frac{dg}{dx} = \frac{a'}{2 \operatorname{sen} 60^\circ (a'b + ab')} \times \\ &\times \left[\Delta_2 - \Delta_3 - \frac{a}{a'} (\Delta'_2 - \Delta'_3) \right] \\ \frac{d^2 U}{dy dz} \times 10^{+9} &= U_{yz} = \frac{dg}{dy} = \frac{a'}{a'b + ab'} \left[\Delta_2 - \Delta_3 - \frac{a}{a'} (\Delta'_2 + \Delta'_3) \right] \\ \frac{d^2 U}{dy^2} \times 10^{+9} - \frac{d^2 U}{dx^2} &= U_{\Delta} = - \frac{b'}{2 \operatorname{sen} 60^\circ (ab' + a'b)} \times \\ &\times \left[\Delta_2 - \Delta_3 + \frac{b}{b'} (\Delta'_2 - \Delta'_3) \right] \\ \frac{d^2 U}{dx dy} \times 10^{+9} &= U_{xy} = - \frac{b'}{2 (ab' + a'b)} \left[\Delta_2 + \Delta_3 + \frac{b}{b'} (\Delta'_2 + \Delta'_3) \right] \end{aligned}$$

En estas fórmulas los valores de a , b , a' y b' se calculan por las fórmulas siguientes:

$$a = \frac{D}{\tau} K; \quad a' = \frac{D}{\tau'} K'; \quad b = \frac{2 D}{\tau} m l h; \quad b' = \frac{2 D}{\tau'} m' l h'$$

en las que como ya hemos dicho: D representa la distancia del espejo de cada balanza a la placa fotográfica; m y m' los gramos que pesan los contrapesos; l la distancia del eje de jiro de cada balanza al punto de suspensión de los contrapesos; h y h' las distancias de los centros de gravedad de los contrapesos a sus puntos de suspensión; K y K' los momentos de inercia de las balanzas que para determinarlos se emplea una balanza auxiliar cuyo alambre de torsión es de latón, estando determinado previamente su coeficiente de torsión que figura como constante y dato de la balanza y que envía la Casa Constructora. Se deduce el valor de K para las dos balanzas por la fórmula

$$K_I \frac{t^2_I}{\pi^2} \times \tau a \text{ y } K_{II} \frac{t^2_{II}}{\pi^2} \times \tau a,$$

A los datos obtenidos hay que hacer varias correcciones, es la primera la referente a las temperaturas. Ordinariamente puede prescindirse de esta corrección. Ahora bien, para calcularla en casos muy delicados o en aquellos donde se hayan promovido, mientras la balanza ha estado trabajando, cambios bruscos de temperatura, es preciso tener en cuenta que para cada grado que aumenta o disminuye la temperatura se traduce en una variación en la escala de dos unidades y además que en las balanzas se dan los coeficientes térmicos por grado de temperatura y que en la balanza Q , por ejemplo, son 0,52 y 0,48 para Q_I y Q_{II} . Así resulta, pues, que si el punto marcado para la posición inicial es de 126,6 unidades y la temperatura de 10° y para la segunda las unidades marcadas son 125,3; tendremos $\frac{2}{1} \frac{126,6-125,3}{x}$ o sea $x = \frac{1,3}{2} = 0,65$ y la temperatura, durante la lectura de la segunda posición de la balanza, habrá sido 9,35 grados.

Para corregir las unidades leídas en la balanza Q en esa segunda posición, que supondremos sea 97, tendremos:

$$\frac{0,52}{x} = \frac{1}{0,65}, \text{ de donde } x = 0,34, \text{ o sea que la distancia}$$

corregida sería 96,66.

Una corrección muy importante que es preciso hacer en la balanza es la que proviene por la acción del terreno. Exige una nivelación topográfica en un radio de 100 metros, y es operación que es siempre necesario efectuar cuando se quiere aplicar la balanza a la investigación de yacimientos minerales.

El profesor Schweydar, modificando ligeramente las

dadas por Eötvös (1), ha propuesto para terrenos cuya pendiente no exceda de 7 a 8° , las fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} U'_{xz} \times 10^{+9} &= \frac{\sigma}{1,8} [5,79 \varepsilon^0 + \{0,0379 \varepsilon (\xi_1 + \xi_5) + \\ &+ 0,0061 \varepsilon (\xi_3 + \xi_7) + \\ &+ 0,0221 \varepsilon (\xi_2 + \xi_4 + \xi_6 + \xi_8) + 0,016 k (\xi_2 + \xi_6 - \xi_4 - \xi_8) \} \rho = 5 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,1305 (\xi_1 - \xi_5) + 0,0922 (\xi_2 + \xi_8 - \xi_4 - \xi_6) \} \rho = 5 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,0117 (\xi_1 - \xi_5) + 0,0083 (\xi_2 + \xi_8 - \xi_4 - \xi_6) \} \rho = 20 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,0011 (\xi_1 - \xi_5) + 0,00077 (\xi_2 + \xi_8 - \xi_4 - \xi_6) \} \rho = 50 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,00028 (\xi_1 - \xi_5) + 0,00020 (\xi_2 + \xi_8 - \xi_4 - \xi_6) \} \rho = 100 \text{ m.} \\ U'_{yz} \times 10^{+9} &= \frac{\sigma}{1,8} [5,79 k^0 + \{ 0,0379 k (\xi_3 + \xi_7) + \\ &+ 0,0061 k (\xi_1 + \xi_5) + \\ &+ 0,0221 k (\xi_2 + \xi_4 + \xi_6 + \xi_8) + 0,016 \varepsilon (\xi_2 + \xi_6 - \xi_4 - \xi_8) \} \rho = 5 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,1305 (\xi_3 - \xi_7) + 0,0922 (\xi_2 + \xi_4 - \xi_6 - \xi_8) \} \rho = 5 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,0117 (\xi_3 - \xi_7) + 0,0083 (\xi_2 + \xi_4 - \xi_6 - \xi_8) \} \rho = 20 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,0011 (\xi_3 - \xi_7) + 0,00077 (\xi_2 + \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \} \rho = 50 \text{ m.} \\ &+ \{ 0,00028 (\xi_3 - \xi_7) + 0,00020 (\xi_2 + \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \} \rho = 100 \text{ m.} \\ U'_{\Delta} \times 10^{+9} &= -0,4826 (\xi_1 - \xi_3 + \xi_5 - \xi_7) \rho = 5 \text{ m.} \\ &- 0,0819 (\xi_1 - \xi_3 + \xi_5 - \xi_7) \rho = 20 \text{ m.} \\ &- 0,0318 (\xi_1 - \xi_3 + \xi_5 - \xi_7) \rho = 50 \text{ m.} \\ &- 0,0308 (\xi_1 - \xi_3 + \xi_5 - \xi_7) \rho = 100 \text{ m.} \\ &- 0,00403 (\xi_1 - \xi_3 + \xi_5 - \xi_7) \rho = 1.000 \text{ m.} \\ 2U'_{xy} \times 10^{+9} &= +2413 (\xi_2 - \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \rho = 5 \text{ m.} \\ &+ 0,0410 (\xi_2 - \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \rho = 20 \text{ m.} \\ &+ 0,0159 (\xi_2 - \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \rho = 50 \text{ m.} \\ &+ 0,0154 (\xi_2 - \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \rho = 100 \text{ m.} \\ &+ 0,0021 (\xi_2 - \xi_4 + \xi_6 - \xi_8) \rho = 1.000 \text{ m.} \end{aligned}$$

(1) Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwaage.

En estas fórmulas σ representa la densidad del terreno deducida del examen de las rocas que aparecen en la superficie. Para obtener los distintos valores consúltese las tablas de Gauss.

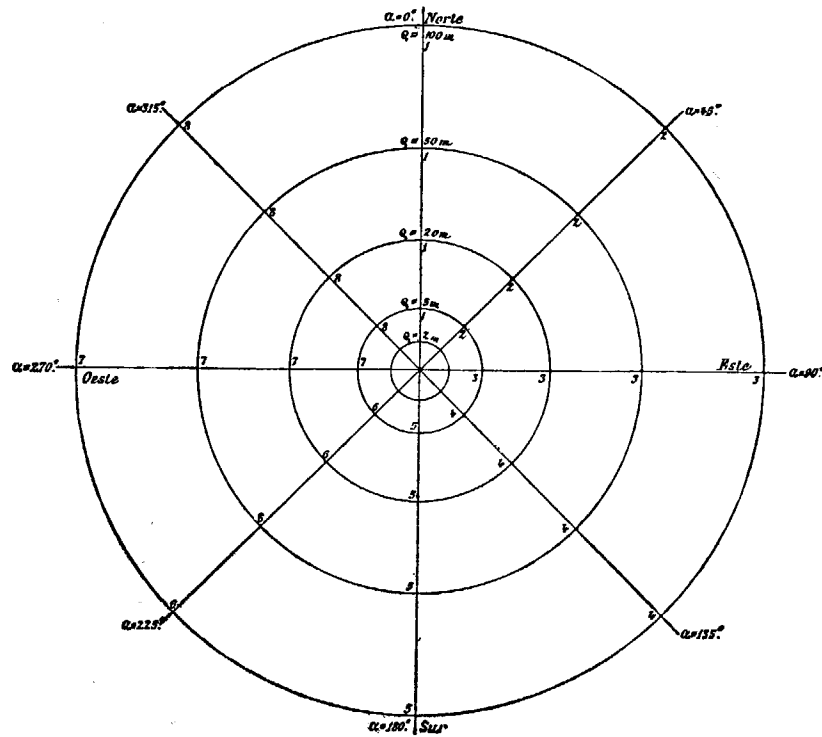


Fig. 22

Los valores de ϵ y K representan la nivelación en grados de la superficie del terreno en una distancia de dos metros de la balanza a cada lado en dirección N.-S. y E.-O., considerando positiva la distancia cuando el terreno circundante es más alto que la estación, y negativa en el caso contrario; así, por ejemplo si el desnivel en los cuatro

metros en dirección N.-S. ha sido de +6 centímetros el valor de $\text{tg } \epsilon = \frac{+6}{400} = + 51' 30''$. Estos valores de ϵ y k no deben exceder de 1°.

Los valores $\xi_1 \xi_2 \dots \xi_8$ representan diferencias de nivel y para calcularlas es preciso hacer una nivelación en la forma indicada en la figura 22. Es decir que es preciso trazar alrededor de la estación 4 circunferencias concéntricas con 5, 20, 50 y 100 m. de radio y luego sucesivamente se va determinando con un nivel y una mira la diferencia de altura de cada posición de mira con el centro en donde se sitúa la balanza en las ocho posiciones en que se pone en cada una de las circunferencias; posiciones que corresponden a la intersección con cada circunferencia de las direcciones que marcan los cuatro puntos cardinales y las direcciones intermedias. Estas diferencias de nivel son los valores $\xi_1 \xi_2 \dots \xi_8$ de las fórmulas precedentes y por consiguiente habrá que repetir los cálculos para cada una de las cuatro circunferencias.

Los valores así obtenidos para U'_{xz} , U'_{yz} , U'_{Δ} y U'_{xy} restados de los valores *totales* de U obtenidos anteriormente, dan lugar a lo que se llaman valores *topográficos* del gradiente, que es el que interesa para sacar consecuencias prácticas del manejo de la balanza.

Si no se calculara la acción cartográfica y normal se puede obtener ya el *gradiente máximo* horizontal. En efecto, no habría más que construir en los ejes coordenados los valores siguientes: $U_{xz} - U'_{xz}$, $U_{yz} - U'_{yz}$. Supongamos que estos valores sean +4 y -2,7, y tendremos, adoptando la escala de 1 milímetro (fig. 23) por $1, 10^{-9}$, el *gradiente máximo horizontal* estará representado por la línea OA , y se pone una flecha para indicar su dirección.

Por último, algunas veces conviene tener en cuenta

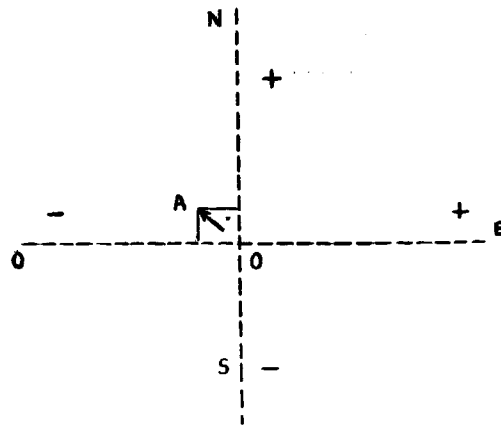


Figura 23.

para las aplicaciones geofísicas la acción cartográfica y normal que ejerce, en general, muy poca influencia sobre el gradiente y algo más sobre las magnitudes $\frac{d^2 U}{dy^2}$, $\frac{d^2 U}{dx^2}$ y $\frac{d^2 U}{dx dy}$.

Consiste la acción cartográfica en la que ejerce sobre la balanza las elevaciones y depresiones del terreno no en un radio de 100 metros alrededor de la estación, sino a mayores distancias. Se precisa para su cálculo la existencia de un plano de la zona en que se va a operar. Este mapa que se precisa utilizar puede estar trazado a diversas escalas, tanto menor cuanto mayor es la distancia. Eötvös utilizó en sus operaciones en Hungría los siguientes planos: 1:25.000, para distancias menores de 12 kilóme-

tros; 1:75.000, hasta 30 kilómetros, y 1:900.000, para distancias superiores a 30 kilómetros. Las equidistancias de las curvas de nivel correspondientes a los tres mapas eran de 40, 100 y 400. Eötvös, dividió la vuelta al horizonte en 36 segmentos, o sea que cada uno tenía 10° de ángulo, y calculó la influencia de las masas para cada segmento aplicando las fórmulas que él mismo ideó. En la mayor parte de los casos no se hace preciso el cálculo de esta corrección por tener un valor muy pequeño. En la cuenca potásica de Cataluña se hizo el cálculo de esta corrección en la primera estación que era la más rodeada de montañas y su valor era tan insignificante que no afectaba en nada al valor de los gradientes.

En la cuenca potásica catalana descrita con todo detalle en el capítulo IV de esta obra, se hicieron exploraciones con la balanza de torsión del Instituto Geológico, por los Sres. Sans Huelin, García Siñeriz y Miláns del Bosch, en junio y julio de 1925. Se tomó como campo de exploración el valle del río Llobregat. Se sabía que en Manresa, al Sur de la cuenca (ver corte número 3), no existía potasa, pues en dicho sitio se encuentra el contacto del eoceno con el oligoceno, y se sabía también que en el sondeo de Puigreig, al Norte de la cuenca, no se había encontrado el manto salino. Por otra parte, en el sondeo de Balsareny se había hallado un yacimiento de sal común y potasa muy importante, y se deseaba conocer, en vista de estos resultados, por donde pasaban en el referido valle, al Norte y al Sur de Balsareny, los límites de la masa salina.

La estación de la balanza se montaba a primera hora de la mañana, y estaba en disposición de funcionar al mediodía o primeras horas de la tarde. Se obtenían generalmente series suficientes de placas antes de ponerse el sol. Si salía mal la placa o las correcciones de las cabezas de

Una vez obtenidos los datos se hizo la representación gráfica de las perturbaciones subterráneas y se escogió como escala la de medio milímetro por cada unidad del noveno orden de la perturbación. Sobre un sistema de coordenadas se colocó la perturbación máxima subterránea partiendo de las coordenadas del cuadro anterior en que el eje de la x señala la dirección Norte-Sur y el de las y Este-Oeste.

He aquí los valores obtenidos en las estaciones en las que se pudieron determinar.

Estaciones	Perturbación máxima subterránea
1.....	59,4. 10^{-9}
2.....	28,0 »
3.....	34,0 »
5.....	22,0 »
6.....	8,8 »
7.....	3,2 »
8.....	2,3 »
9.....	13,0 »
11.....	14,0 »
12.....	21,0 »
13.....	17,0 »
14.....	20,8 »
15.....	11,4 »
17.....	10,0 »
18.....	35,0 »
19.....	22,0 »
20.....	17,6 »

En el plano de la figura 24 se representaron las 17 estaciones con una flecha cuya magnitud y dirección es la correspondiente a la perturbación máxima subterránea.

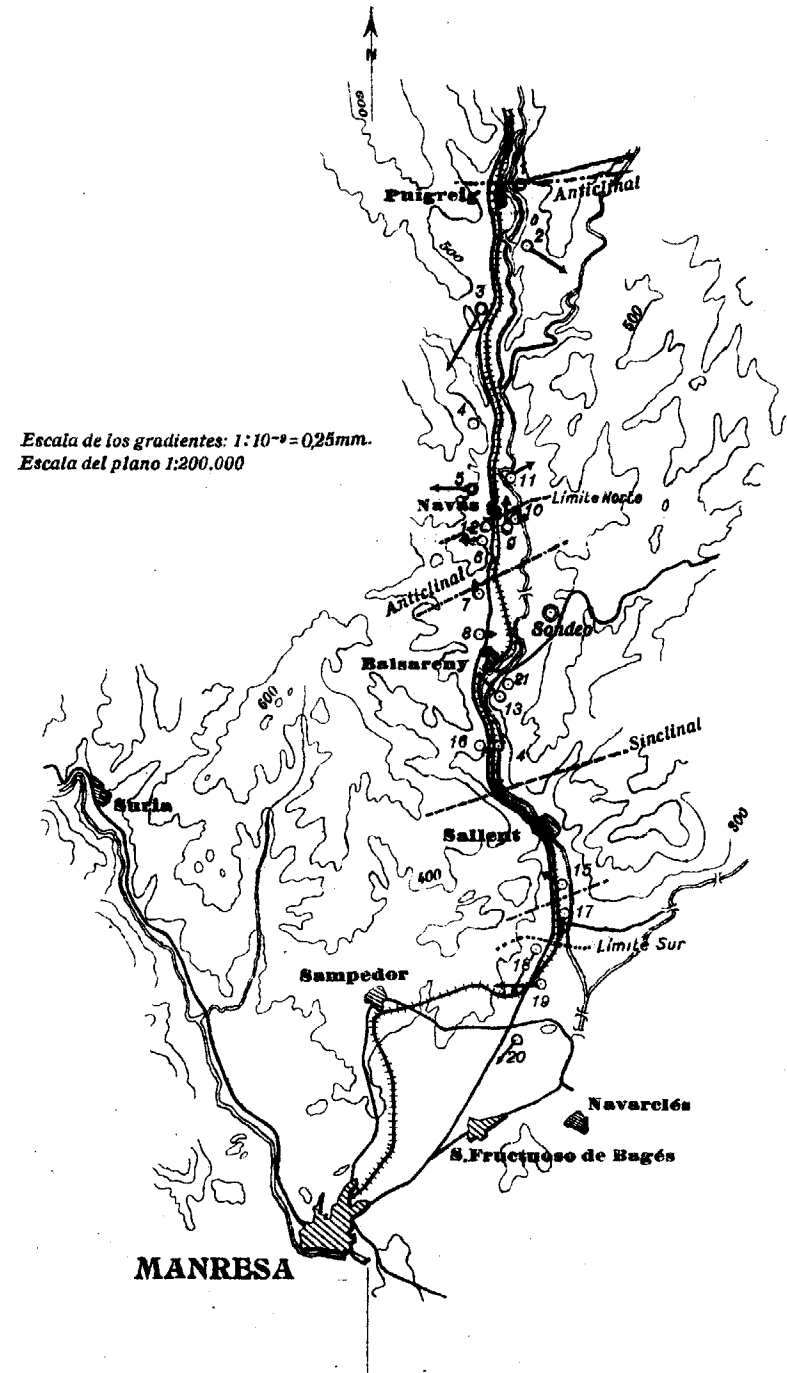


Fig. 24

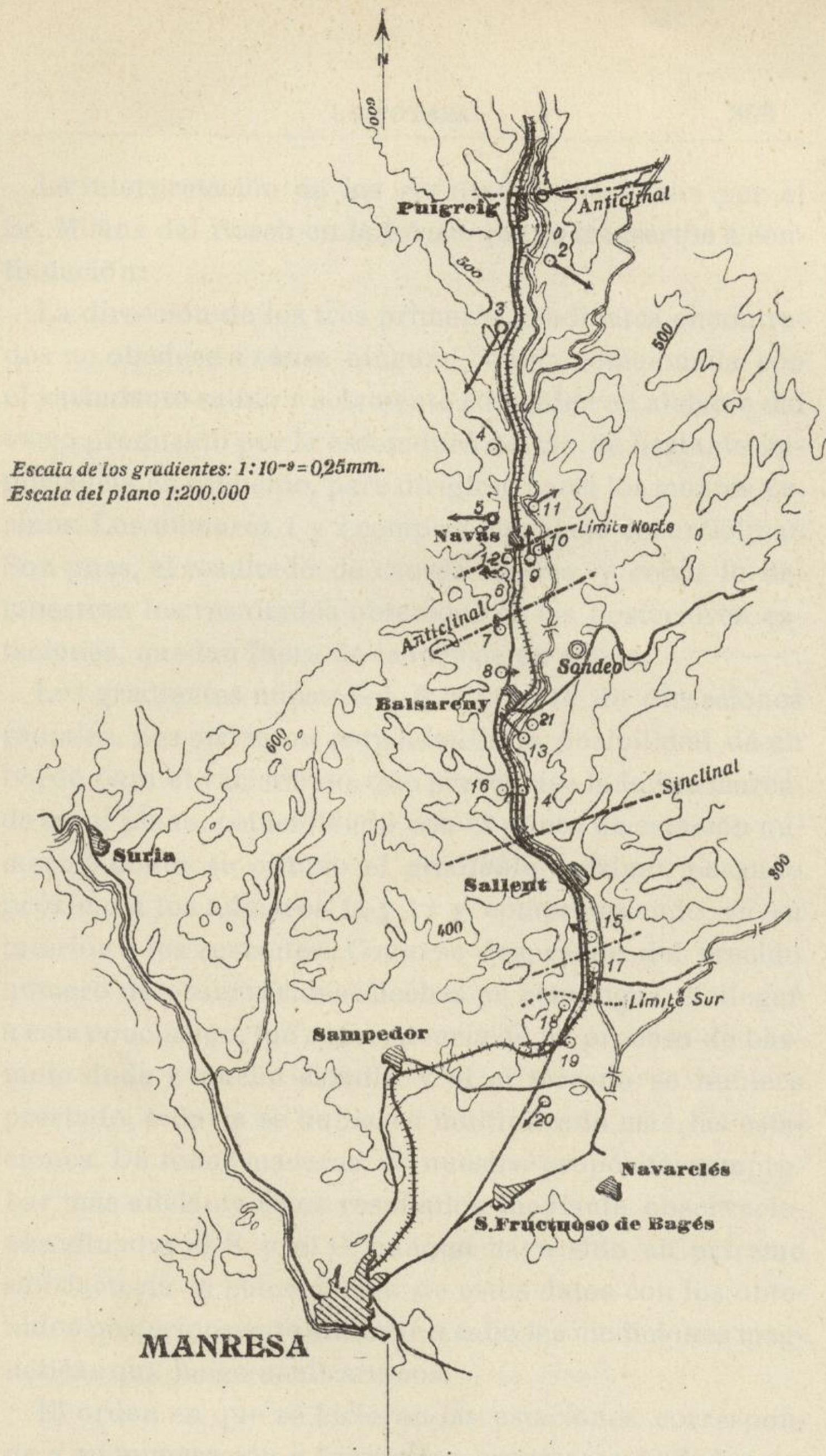


Fig. 24

La interpretación de los resultados fué hecha por el Sr. Miláns del Bosch en la forma que se transcribe a continuación:

La dirección de los tres primeros gradientes encontrados no obedece a causa ninguna común relacionada con el yacimiento salino y solamente coinciden en alejarse del vacío producido por la escotadura del río, de bastante importancia en este sitio, para dirigirse hacia los montes vecinos. Los números 1 y 2 comprenden al eje del anticlinal. Son pues, el resultado de causas locales, y como lo demuestran los resultados obtenidos en las posteriores estaciones, quedan fuera de la formación salina.

Los gradientes números 5, 6, 9, 11 y 12 de direcciones radiales, nos sirvieron para admitir la posibilidad de un borde para el yacimiento, que presentase la forma marcada en el plano, coincidiendo con el punto de estación número 5 donde se obtuvo el gradiente máximo, pasando próximo a los números 11 y 12 y comprendiendo en su interior a los restantes. Como se desprende del crecido número de observaciones hechas en este lugar, el llegar a esta conclusión, fué consecuencia de un proceso de bastante duda y mucho estudio y si el terreno se hubiera prestado, todavía se hubiesen multiplicado más las estaciones. De todas maneras, es nuestro propósito comprobar más adelante estos resultados mediante observaciones situadas al E. y al O. aunque haya sido en extremo satisfactoria la coincidencia de estos datos con los obtenidos posteriormente al llevar a cabo las mediciones magnéticas que luego analizaremos.

El orden en que se hicieron las estaciones corresponde a su numeración y fueron los gradientes hallados en los números 7 y 8 (que nos demostraban que estábamos sobre la sal), los que nos obligaron a volver más al N. a

precisar el punto de paso del borde del yacimiento, por que si bien, los tamaños de los números 5, 6, 7 y 8 estaban entre sí en perfecta armonía, marcando el número 5 la proximidad inmediata de dicho borde, la dirección de este mismo gradiente, que lógicamente debía de tender a ser normal al borde, era la que nos confundía.

Los gradientes obtenidos en las estaciones números 7 y 8 están en perfecta armonía con su posición respecto a la masa de sal, que existe, en varias capas (según el sondeo abierto en las cercanías), a una profundidad de 650 metros y una potencia total, entre sal potásica y común, de más de 100. El eje del pliegue anticlinal que cruza al N. de Balsareny, queda comprendido entre las estaciones números 6 y 8 y coincide prácticamente con la número 7, la que en consecuencia acusa un gradiente casi nulo puesto que en este sitio del pliegue es donde más se aproximó la sal a la superficie. Las direcciones divergentes de los gradientes 6 y 8, separándose del eje del anticlinal, coinciden con lo que teóricamente debía suceder y el mayor tamaño del primero de estos dos puede obedecer a estar la sal en ese punto a mayor profundidad que en el 8, o, lo que es más probable, dada su posición simétrica en el pliegue, a una potencia menor de la formación en la proximidad de su borde límite.

El gradiente obtenido en la estación número 13, por su tamaño nos revela aun la existencia de la sal en dicho punto, si bien en ciertas condiciones locales de profundidad o de potencia que se traducen en una influencia menor que la ejercida en los gradientes números 7 y 8. Su dirección no tiene aquí importancia y puede obedecer igualmente a cualquier causa local.

En cambio, el gradiente hallado en la observación siguiente número 14 de un tamaño mayor aún que el obte-

nido en la estación número 5, por lo cual hemos supuesto que pasa el borde de la formación, nos acusa ya claramente la proximidad de un cambio importante de masa en el terreno, o sea la existencia en la dirección de dicho gradiente de un terreno de mayor densidad. Esta circunstancia podría interpretarse de dos maneras distintas según se atribuyese a la desaparición parcial o completa de la sal o a un cambio notable en la naturaleza o constitución geológica del terreno situado encima de ella; ya que es evidente, que no existe ningún accidente geológico de importancia, ni es lógico suponer la presencia de otras sustancias minerales pesadas (1).

El cambio en la naturaleza del terreno es evidente, y basta el estudio geológico para comprobarlo. Afloran en este sitio unas potentes capas de molasa, algunas verdaderas calizas, que constituyen la roca de mayor densidad de toda la región (2,6). Estas capas, plegadas siguiendo el sinclinal, desaparecen bajo la superficie a débil profundidad, para aparecer de nuevo en el pueblo de Sallent. No es pues de extrañar que el conjunto de estos estratos que representan un importante exceso de masa sobre la normal del terreno ejerza alguna influencia en el gradiente obtenido en la estación número 14, situada precisamente en el afloramiento N. de estas capas. Ahora bien: ¿Es esta la única causa originaria de este gradiente? Indudablemente, no. Ella sola no bastaría para producirlo. Existen otras relacionadas con la sal, que hemos visto confirmadas al efectuar las mediciones magnéticas, y que pueden

(1) Conviene hacer presente que no hay razón alguna para que no exista sal en este punto. Es preciso atribuir la dirección y magnitud del gradiente 14 a que cruza por donde se hizo esta estación el sinclinal de Sallent, como está indicado en el plano. Marín.

ser, o bien una desaparición completa, por disolución; formando una pequeña laguna en su masa, o al menos, una notable reducción en su potencia que combinada con la mayor profundidad (puesto que nos encontramos casi en el centro del pliegue sinclinal) producen como resultado el exceso de masa que se refleja en el gradiente.

Los gradientes obtenidos en las estaciones números 15 y 17, que comprenden al eje del último pliegue anticlinal de la región, están en absoluto de acuerdo con la teoría de la Balanza y nos demuestran, no solamente la existencia de la sal en el interior de dicho pliegue, sino la del pliegue mismo, por sus direcciones divergentes alejándose de él.

El estudio estratigráfico, pone de manifiesto que en esta parte, estamos geológicamente en un nivel inferior al del resto de la zona y como además concurre la elevación de la masa de sal, efecto del pliegue anticlinal, y el hallarnos cerca del borde de la formación oligocena no hay sino razones para suponer con acierto que en esta región, el mineral está más próximo de la superficie que en ninguna otra; por consiguiente el tamaño relativamente crecido de los gradientes 15 y 17, si se comparan con los 7 y 8, encontrados sobre el anticlinal del N. de Balsareny, no se puede achacar a una profundidad de la masa salina, y lógicamente hay que atribuirlo a una disminución del volumen de dicha masa, en las proximidades del límite S. del yacimiento, que según se desprende de los gradientes obtenidos en las tres últimas estaciones observadas números 18, 19 y 20 hemos supuesto pasa por la primera de ellas, en la que se encontró el mayor de toda la zona estudiada.

Visto como a partir de éste, disminuían progresivamente a medida que nos acercábamos al contacto con el nu-

multítico se suspendieron las observaciones en la estación número 20.

Como resumen de todo el trabajo realizado con la balanza, puede deducirse que a lo largo del valle estudiado, la sal se sucede desde el N. de Navás hasta el paralelo de Cabrianas con una corrida total de cerca de 13 kilómetros, sin más interrupción que la supuesta, como probable, al N. del pueblo de Sallent (1).

El profesor Schweydar en Alemania hizo unos experimentos muy interesantes sobre un yacimiento de sal cuyos límites eran bastante bien conocidos por medio de sondeos. El principio de que se valió para fijar el límite de la masa perturbadora (que en el ejemplo que se trata la constituye el yacimiento salino), está fundado en la diferencia de densidad de la masa salina con relación a la masa circundante. Según la teoría en los bordes los gradientes serán máximos y estarán dirigidos en sentido opuesto a la masa de sal.

Por tanto Schweydar delimitó los gradientes máximos horizontales en muchos puntos en la forma indicada en la figura, haciendo las correcciones que hemos indicado más arriba. Los resultados obtenidos estaban de acuerdo con los que ya se conocían por sondeos. En la figura está indicada con línea llena el límite conocido de la sal y los gradientes mayores obtenidos están precisamente en el mismo borde de la sal y además en la dirección que **deben tener**.

Se observa también que los gradientes disminuyen mucho a medida que se van separando del borde, lo que

(1) Volvemos a insistir que no es probable esta interrupción. Marín.

indica la probabilidad de poder deducir ese límite con una exactitud de 50 a 100 metros.

Llevado del mismo orden de consideraciones, Schweydar pudo señalar el límite desconocido de la derecha del dibujo del valor del gradiente que marca este límite, menor al del borde de la izquierda. Por la dirección del que se encuentra entre los dos límites se puede deducir que la superficie del yacimiento está inclinada y el borde derecho más profundo que el izquierdo.

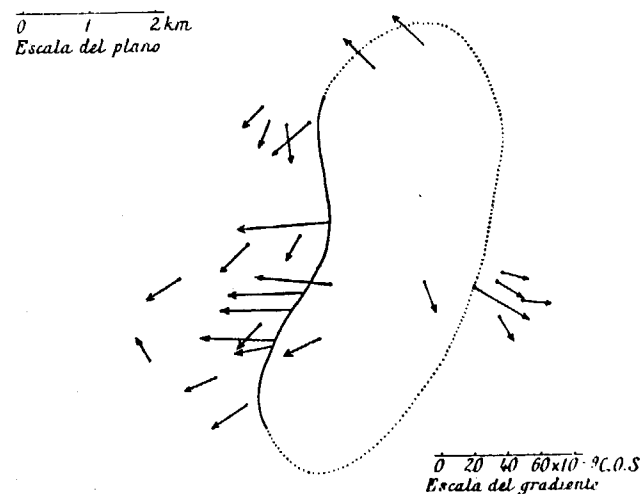


Figura 25

La balanza sirve también para señalar la existencia de masas metálicas en el subsuelo, así como para la determinación de los pliegues de los estratos fundados en uno y otro caso en el valor algebraico de los gradientes.

Si en una región determinada se ha efectuado un número grande de observaciones y se han deducido los valores de Δg tomados todos ellos con relación a una esta-

ción cuyo valor g se conoce por medio del péndulo, se pueden unir por una línea continua las estaciones en que el valor de g sea igual, dando lugar a las curvas que se denominan isógamas. Si la Δg está calculada con los valores de las perturbaciones subterráneas del gradiente, o sea que se han trazado las isógamas de las perturbaciones subterráneas, pueden éstas dar indicaciones acerca de la profundidad de las masas perturbadoras en la hipótesis de que sean más densas que la masa que las rodea.

La fórmula que Eötvös emplea para estos fines es:

$$\Delta g = 2\pi G (\rho' - \rho) h,$$

en la que G es la constante de la gravitación, ρ' la densidad de la masa rocosa, ρ la del terreno circundante y h la profundidad buscada.

El profesor ruso P. Nikiforow presentó en el reciente Congreso Geológico Internacional celebrado en Madrid, un nuevo tipo de variómetro de gravedad o balanza, de corto período, muy interesante y que para trabajos rápidos y que no exijan gran precisión, puede resultar muy práctico.

El aparato esencialmente está constituido por un balancín de tipo ordinario con dos pesos en sus extremos colocados al mismo o a diferentes niveles y suspendido todo él por un delgadísimo hilo metálico de 0,02 metros de longitud. El conjunto está protegido por triple envoltura de aluminio endurecido.

Este variómetro está basado en la determinación del estado de equilibrio por las ordenadas de la curva de oscilación del balancín o brazo horizontal de la balanza sin esperar a que éste haya quedado en reposo. Basta solamente hacer la observación de las ordenadas extremas. Presenta además dos diferencias importantes con la balanza Eötvös: una en que las lecturas no se registran fotográfi-

camente, sino que se hacen directamente por medio de un apropiado sistema óptico de autocolimación, y otra en que el cambio de azimut no se hace mecánicamente a intervalos fijos, sino que se hace manualmente a voluntad del operador.

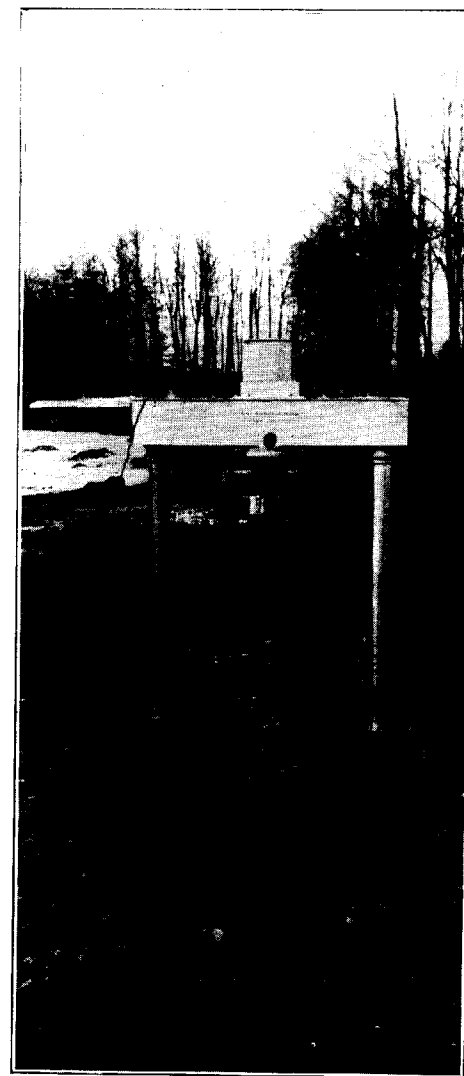
Sterneck ha ideado un aparato constituido por 4 péndulos de medio segundo. Para medir las oscilaciones el aparato está provisto de un diafragma con movimiento sincrónico del cronómetro de contacto que sirve para la comparación. Merced a esta disposición, en el momento de la coincidencia un rayo de luz reflejado en el espejo que lleva uno de los péndulos ilumina el retículo de un anteojo apropiado.

Como es sabido, la duración de la oscilación de un péndulo y la fuerza de la gravedad están unidas por la fórmula

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

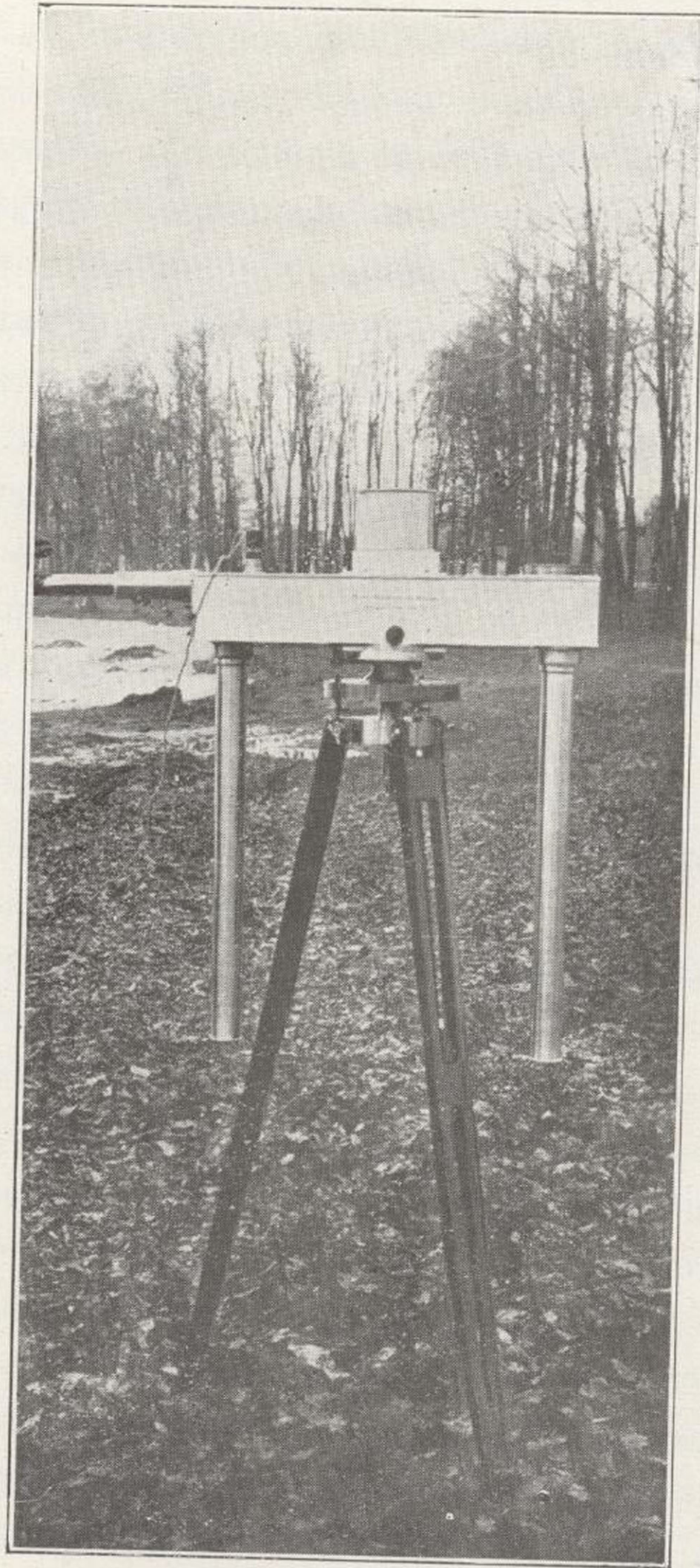
Como l es constante, la mayor o menor intensidad de la gravedad representa un menor o mayor tiempo en la oscilación del péndulo, y se comprende que se pueda llegar por este procedimiento a la determinación de ciertas anomalías gravimétricas en relación con ciertas formaciones del subsuelo. Sin embargo, no creemos que para pequeñas perturbaciones producidas por depósitos minerales locales pueda tener eficiencia el procedimiento.

Procedimientos magnéticos.—Como ya hemos dicho son aplicados los procedimientos magnéticos desde mediados del siglo XIX para la investigación de los criaderos de hierro. Los magnetómetros han sido aplicados con éxito para determinar masas minerales magnéticas, y en España el Ingeniero de Minas D. José María Rubio los



Balanza de Nikiforov.





Balanza de Nikiforov.



empleó en las minas de Cehegín (Murcia). Pero hasta hace poco no se ha aplicado esta clase de procedimientos a la determinación de otra clase de criaderos, y se puede decir que está en sus albores la utilización del magnetismo como medio de investigación para la determinación de substancias útiles por bajo de los terrenos sedimentarios. Actualmente los trabajos de F. Schuh en la cuenca salina de Mecklenburgo y los de los señores Gil, Barandica y Miláns del Bosch, en la cuenca salina catalana, han hecho concebir grandes esperanzas acerca de la bondad del procedimiento en la investigación de las substancias objeto de nuestro estudio.

Sabido es que a la tierra se la considera como a un único imán cuyos dos polos no coinciden con los geográficos y la línea que les une está inclinada $11,95^\circ$ con relación al eje de rotación del globo. El eje magnético varía continuamente de posición.

El polo Norte de una aguja magnética es atraído por el Sur terrestre y el Sur de la aguja por el Norte de la tierra. En el Ecuador magnético los polos de la aguja se equilibran y ésta queda en posición horizontal. Cuanto más se acerque la aguja a un polo la inclinación será mayor y el ángulo que forma la aguja con el horizonte se llama inclinación. El ángulo que forma la aguja con el meridiano astronómico o verdadero se llama declinación. La posición que toma la aguja depende de la fuerza que sobre ella actúa y a su intensidad se la llama intensidad total y a sus componentes: intensidad horizontal e intensidad vertical. La intensidad total actúa en la dirección de la inclinación. Para un valor conocido de la declinación las fuerzas están en dependencia mutua.

Es evidente, que si la tierra fuera de una constitución uniforme, por consiguiente de un campo magnético tam-

bién uniforme, los elementos magnéticos serían fáciles de determinar, pero no ocurre esto en la naturaleza; sino que debido principalmente a las diferencias de constitución de las rocas que forman la corteza terrestre y más en general a la diversidad de la geología de nuestro globo, se presentan anomalías en los fenómenos magnéticos. Precisamente en el examen de estas anomalías están fundados los procedimientos magnéticos de investigación, pues siguiendo en el razonamiento un orden inverso se comprenderá que el estudio de la anomalía en la clase de fenómenos que nos ocupan de momento, en relación con las condiciones magnéticas del lugar en donde se realizan los experimentos determinará que existe una perturbación dependiente de la geología de la comarca que se investiga.

El procedimiento se reduce, pues, en síntesis, a comparar los valores encontrados para las intensidades magnéticas en los puntos de observación con los valores normales que debería tener cada uno de ellos y deducir las anomalías que por exceso o por defecto acusen los referidos valores. Estas anomalías indicarán que existe en el subsuelo una masa de mayor o menor permeabilidad magnética que el terreno que la rodea.

Para poder llegar a un resultado práctico, se hace preciso por tanto, como en todos los procedimientos geofísicos hacer primeramente todas las observaciones físicas con la mayor exactitud posible y después que el geólogo interprete, con los conocimientos generales y los especiales de la región, los resultados físicos obtenidos para su aplicación al problema de investigación geológica que se haya planteado. Esta interpretación es difícil y requiere estudios muy concienzudos.

Para hallar en el campo la intensidad total se puede

medir la componente horizontal y el ángulo de inclinación o medir las dos componentes horizontal y vertical. El primero se sigue con las mediciones absolutas y el segundo con el de las relativas y en los observatorios.

Para las mediciones absolutas se usan dos órdenes de aparatos; variómetros, magnetómetros y teodolitos magnéticos (1) para la determinación de la declinación y componente horizontal e inclinómetros e inductores para hallar el ángulo de inclinación. Como hoy el procedimiento que más se usa en el campo es el de las mediciones relativas sólo de él nos ocuparemos en las líneas siguientes.

Con el procedimiento de las mediciones relativas se determinan las componentes horizontal y vertical de la intensidad total y lo que se busca son diferencias de fuerzas magnéticas operando en el meridiano magnético del lugar, para lo que previamente se orienta el aparato.

Las dos componentes se miden separadamente empleando un variómetro para cada una, y pudiendo bastar cualquiera de las dos para encontrar las diferencias de intensidad relativas que den idea de la naturaleza del subsuelo. Ahora bien, los modernos operadores recomiendan se determinen las dos componentes y el Instituto Geológico de España tiene adquiridos las dos clases de variómetros, uno para medir la intensidad vertical y otro para la intensidad horizontal.

Los dos tipos de variómetros son idénticos y no existe otra diferencia entre ambos que la posición del imán, colocado horizontalmente en los variómetros que determinan la componente vertical y verticalmente en los variómetros horizontales. Los variómetros del Instituto Geológico

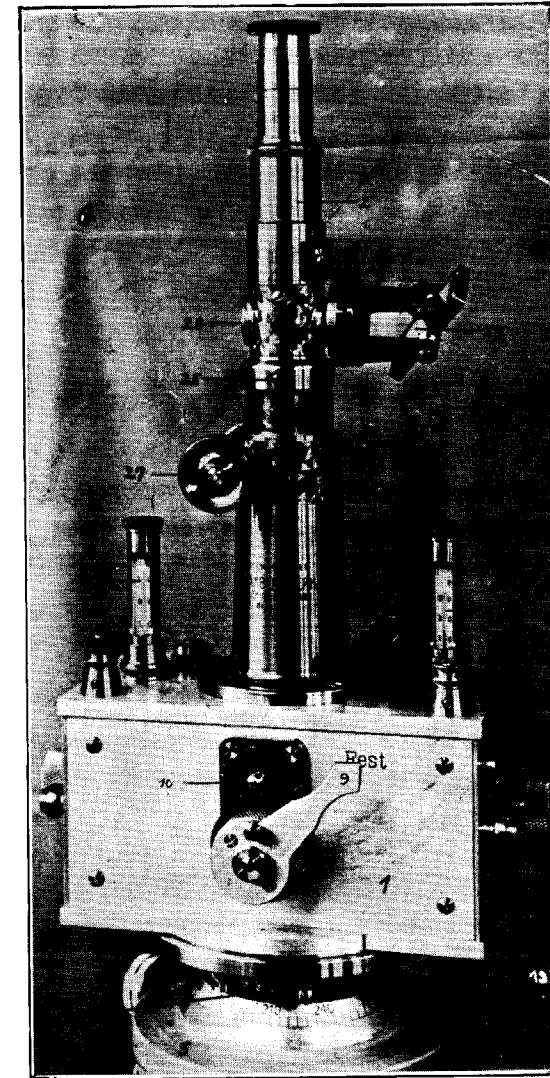
(1) Ver el libro titulado Magnetismo Terrestre, de los Sres. Azpiazu y Gil. Año 1919.

gico son Schmidt y parece que son los más usados. Describiremos uno de los dos: el variómetro vertical, puesto que ya hemos dicho que ambos son iguales.

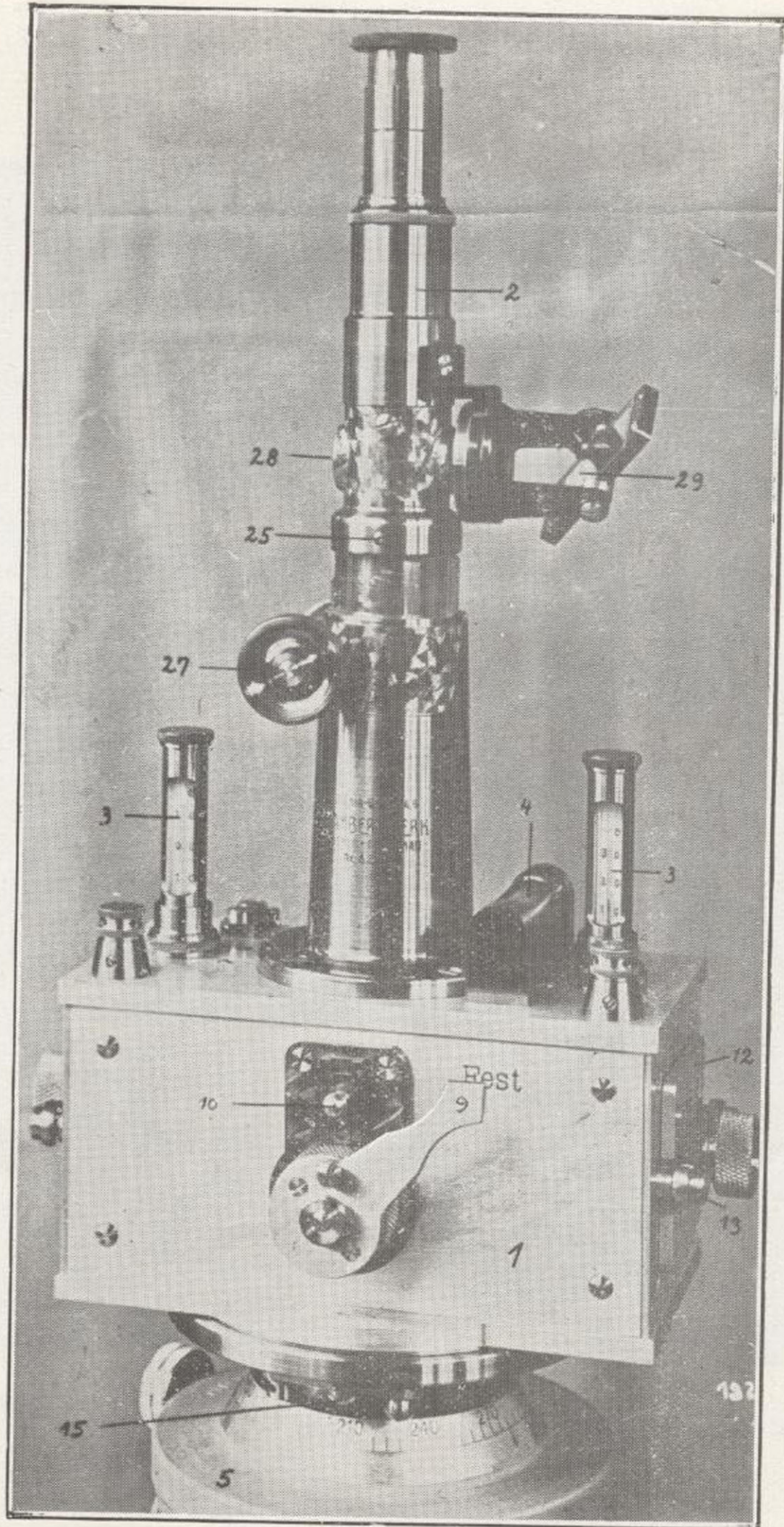
Consiste este variómetro en una caja (1) de dobles paredes con relleno intermedio de corcho que contiene el imán que es doble, montado sobre unos cuchillos de cuarzo (18,19) que descansan sobre los apoyos del mismo material (7). El imán se encuentra en posición horizontal. En el centro de la cara superior del mismo se ha fijado un espejo (20) en cuya vertical sale de la caja un anteojo (2) con ocular de Gauss, en el que hay una escala que sirve para observar la variación en la posición del imán. En un costado se coloca un nivel (4) y en el exterior de la caja hay dos termómetros (3). Por medio de dos caballetes se puede levantar el imán de su cuchillo e inmovilizarlo. Los extremos de las dos láminas que forman el imán están comprendidos en el interior de las cuatro horquillas (11) que sirven para atenuar el movimiento oscilatorio al producirse las corrientes de Foucault permitiendo tan sólo un movimiento de oscilación en su plano vertical.

Todo el aparato está colocado sobre una placa plana que se sujeta a otra que lleva el trípode por medio de tres pivotes (15) y tres grapas a presión. La peana del trípode es giratoria y tiene un nivel de burbuja en su centro (32). Se consigue su nivelación por tres tornillos nivelantes (33) situados en las patas del trípode, constituídos por dos piezas susceptibles de resbalar una sobre otra y pudiéndose fijar por tornillos. A ambos lados de la armadura central existen dos conos macizos que sirven de contrapesos y que variando su masa se consigue desplazar hacia uno u otro lado la imagen de la escala, con objeto de que caiga siempre dentro del campo visual del anteojo.

Resulta pues que en el movimiento de oscilación de los

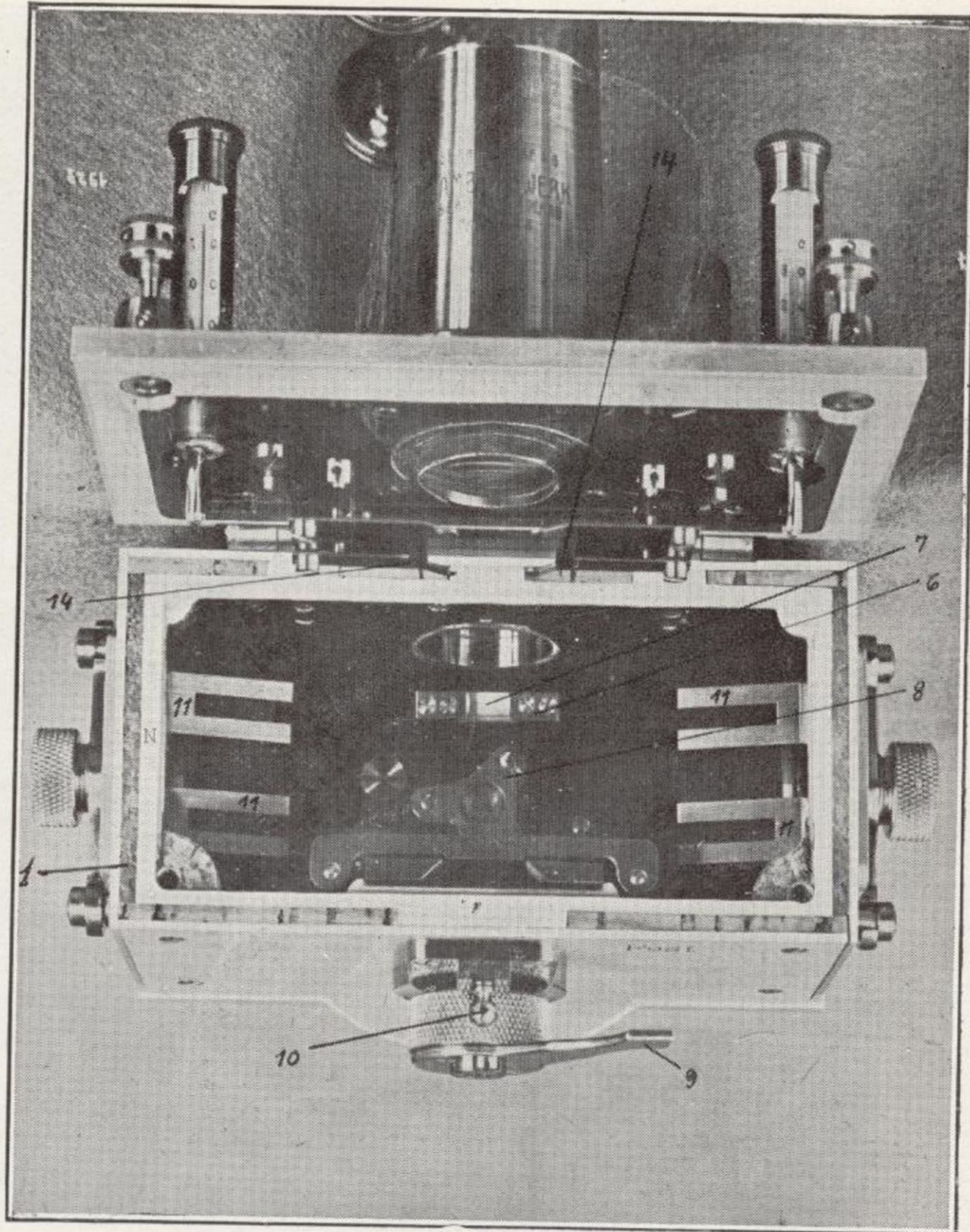


Variómetro de componente vertical. Vista de frente.



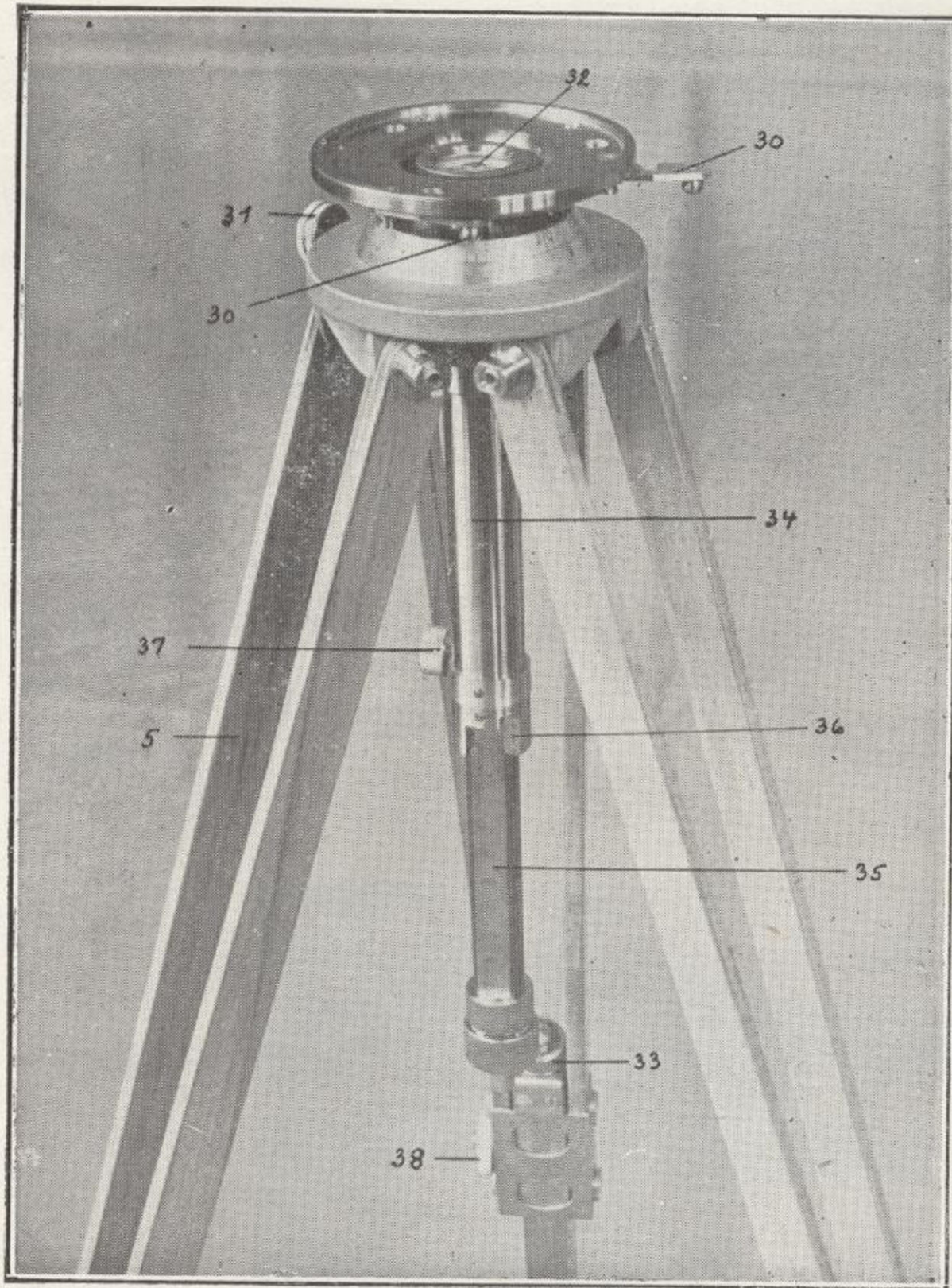
Variómetro de componente vertical. Vista de frente.





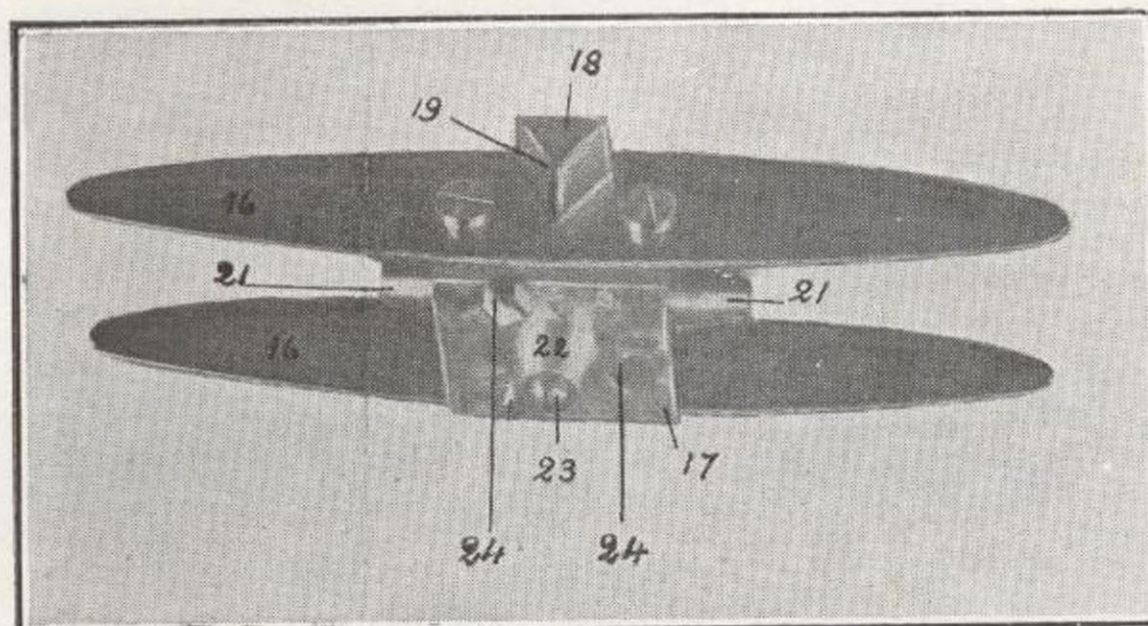
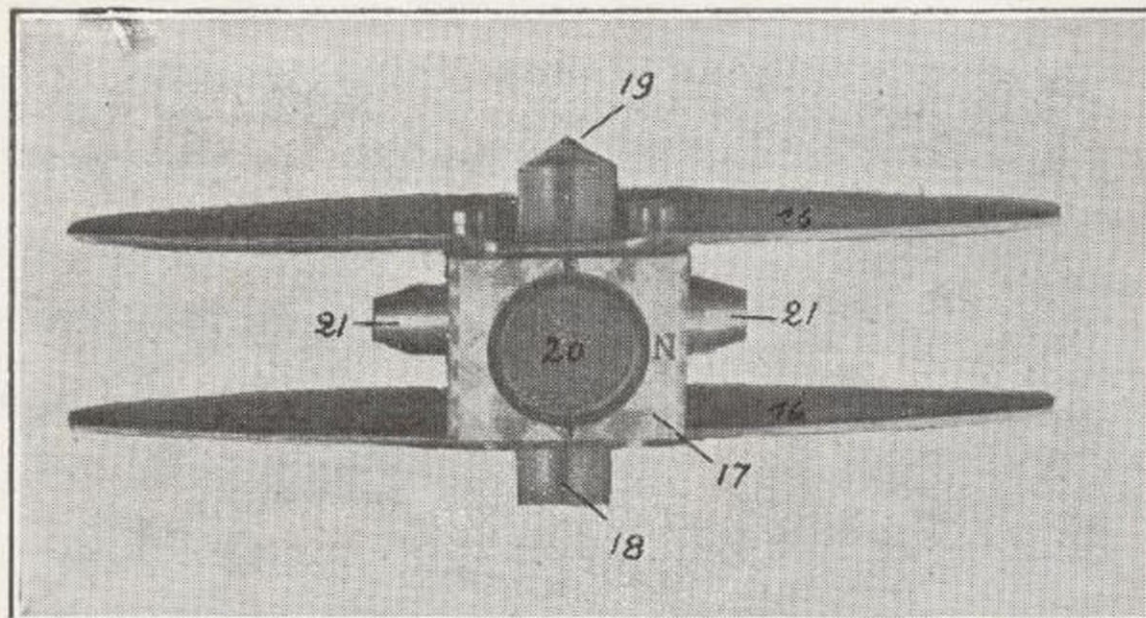
Vista interior del variómetro de componente vertical.





Vista del trípode.





Vista del imán por ambas caras



imanes concurren dos fuerzas: la magnética y la de la gravedad. La primera, impulsora del movimiento, y la segunda, que obra como resistencia. De estas dos fuerzas claro es que la de gravedad es mucho mayor, y que si se pudieran hacer actuar cada una en un brazo de una balanza de brazos iguales, ésta anularía casi a la magnética, pero por la disposición del cuerpo de los imanes el resultado es como si se tratara de una balanza de brazos muy desiguales, correspondiendo el mayor al lado en que actúa la fuerza magnética y el menor para la de gravedad. De esta manera, aunque la fuerza sea mucho menor, el efecto es mucho mayor; tanto más cuanto mayor sea la diferencia entre la longitud de esos dos brazos, lo que equivale, en definitiva, a aumentar la sensibilidad del aparato.

Los señores Gil, Barandica y Miláns del Bosch trabajaron con estos aparatos en la cuenca potásica de Cataluña. Del modo de trabajar con los aparatos y del modo de hacer los cálculos se ha publicado un trabajo por el señor Miláns del Bosch en el Boletín del Instituto Geológico que transcribimos.

Para efectuar una medición, lo primero que hay que tener presente es que el punto elegido quede convenientemente alejado de edificios, vías de ferrocarril, conducciones de corrientes eléctricas, tuberías, etc., así como de separar a 10m. todos los objetos de hierro que el observador lleve consigo. Puesto el trípode en estación y nivelada su cabeza se coloca sobre ella una brújula (39) leyendo la graduación correspondiente al meridiano magnético en el limbo graduado que lleva la cabeza del trípode. Se quita la brújula y se coloca el aparato, nivelándolo escrupulosamente, se orienta y se fija por medio del tornillo (31) en la posición de dicho meridiano. El eje del imán quedará, por lo tanto, perpendicular al plano del

meridiano magnético.

Se suelta el mecanismo de detención del imán levantando el pestillo (10) y haciendo girar la palanca (9) hacia la izquierda y después de esperar un rato para que las oscilaciones hayan cesado se observa por el anteojo la posición que ocupa el trazo inicial de la escala móvil sobre la fija, observación que se repite varias veces para tomar luego un promedio, anotándose también la hora y temperatura del principio y fin de las observaciones. Claro está que antes de cada lectura hay que levantar ligeramente el imán de sus apoyos y dejarlo caer de nuevo. Se repite después toda la observación en una posición simétrica de la primera para lo que se hace girar 180° el aparato, tomando de nuevo las horas y temperaturas. Con esto queda terminada la observación de la componente Z. La de H, se efectúa de modo análogo, con la sola diferencia de que por la índole especial del aparato solo se puede observar en una posición del mismo.

Para mejor comprender todo el proceso de una observación completa y el cálculo posterior hasta encontrar las cifras que dan las intensidades en la unidad correspondiente que es la γ ($1\gamma=0,00001$ c. g. s.) pondremos un ejemplo, tomando los datos de una de las estaciones hechas en el estudio efectuado en la cuenca salina de Cataluña, y presentado en el Congreso Geológico Internacional.

Las constantes de estos aparatos son:

Variómetro Z (vertical)

α_z (coeficiente de temperatura del imán) = $+0,67$ es decir, que $+0,67$ es la variación en divisiones de la escala correspondiente a una variación de 1° en la temperatura.

ϵ_z (sensibilidad del aparato) = $21,7\gamma$ es decir, que a cada

división de la escala corresponde $21,7\gamma$.

Variómetro H (horizontal)

$\alpha_H=0,159$ $\epsilon_H=61,8$

Estas constantes se determinan en el observatorio por procedimientos en cuyo detalle no es necesario entrar y conviene comprobarlos con cierta frecuencia, siendo lo más conveniente, hacerlo antes y después de efectuado un trabajo, porque si en el curso de él hubiesen sufrido variación, se precisa aplicar las correcciones necesarias.

Se elige después en la zona de trabajo o en sus proximidades, una estación base que sirva de referencia a todo el trabajo y con la que se compararán los valores obtenidos en todas las demás, para deducir las diferencias relativas o anomalías que éstas acusan en relación con la primera y, además, para utilizarla como de punto de partida y de cierre para las que se observen cada día con objeto de comprobar si el aparato debido a trepidaciones u otras causas, ha variado de estado en el día. Aparte de esta comprobación conviene repetir cada día la última estación observada el anterior para enlazar así todo el trabajo. Luego hablaremos de estas variaciones o cambios de estado posibles de los aparatos y de la manera de compensarlos.

Estamos en la estación base, hemos hecho ya todas las operaciones de montaje y orientación que quedan reseñadas y empezamos las lecturas:

VARIÓMETRO Z

1.^a posición; en el meridiano magnético. 2.^a posición; a 180° del meridiano magnético.

(hora) h=9 h 2 m

(temp.^a) t=9°

S₁

43,3

43,8

44,5

44,5

44,7

44,8

44,8

t=8°5

t=8°4

S₂

45,2

45,3

45,7

45,7

45,7

45,8

45,8

t=8°0

h=9 h 8 m

VARIÓMETRO H

Posición única;
en el meridiano magnético.

h=9 h 22 m, 5

t=8°0

S₃

26,2

26,2

26,1

26,1

26,1

h=9 h 25 m

t=7°8

El número de lecturas a hacer en cada observación es arbitrario, pero no suele pasar de seis, habiéndose adoptado el de cinco para simplificar los cálculos. Ahora bien; para obtener una serie de cinco lecturas que sean comparables y adoptar como bueno su término medio, es conveniente que la diferencia máxima entre ellos no sea superior a 0,2 o 0,3 de división, debiendo en caso contrario, repetirse hasta obtener cinco lecturas en esas condiciones. A consecuencia de esto, se observará que, con el variómetro Z, en las dos posiciones, se hicieron siete, desechando luego las dos primeras.

Estas diferencias sensibles de una lectura a otra, como las que se acusan entre las dos primeras y las demás, pueden obedecer, o a que los imanes no han tomado sobre los apoyos la postura definitiva y conveniente, por cualquier razón muy difícil de precisar en aparatos de tal delicadeza y sensibilidad, o, lo que es más corriente, a variaciones de temperatura, como ha ocurrido sin duda en este ejemplo. Puede suceder que al cabo de dos o tres lecturas en falso, la temperatura se estacione y pueda ya obtenerse la serie de cinco comparables, pero también ocurre, que por haber estado los aparatos sometidos a una temperatura muy distinta de la del ambiente se lleguen a hacer 10 y más lecturas que varían constantemente siguiendo una marcha ascendente o descendente. En casos así, lo mejor para no tener resultados falsos, es esperar el tiempo suficiente para que los imanes adopten la temperatura ambiente. Entonces, por lo general, si se han observado todas las precauciones debidas al elegir el punto de estación y montar el aparato, se obtendrán ya lecturas cuyas diferencias entre sí sean admisibles, a no ser que existan grandes perturbaciones del magnetismo terrestre (tormentas magnéticas), fenómeno imposible

de conocer hasta que el observatorio haya proporcionado los datos de las variaciones diurnas y contra cuyos efectos nada se puede hacer en el campo, corrigiéndose a *posteriori* en los cálculos. Precisamente para proceder a estas correcciones de las variaciones diurnas del magnetismo terrestre, es por lo que se toman las horas exactas de las observaciones.

Como lo que se busca en todo procedimiento de mediciones relativas son diferencias de unas observaciones a otras para comparar las temperaturas entre sí (lo mismo que luego se hará con las lecturas de la escala), lo más práctico es adoptar una temperatura base que esté comprendida entre todas las observadas y referirlas a ella apreciando las diferencias de cada temperatura media, a la adoptada para base con su signo, lo que nos dará el incremento de temperatura para cada estación. Adoptando la temperatura de 10° como base para el caso de nuestro ejemplo, tendremos:

Primera posición, S_1 .

Hora media = $(9^h, 2 + 9^h, 8) : 2 = 9^h, 5$.

Temperatura media = $t_m = t_p$ (temperatura inicial) + t_f (temperatura final) : $2 = (9^{\circ} + 8^{\circ}, 5) : 2 = 8^{\circ}, 75$.

Temperatura base = $t_b = 10$.

$t_m - t_b = 8^{\circ}, 75 - 10^{\circ} = -1^{\circ}, 25 = \Delta_t$

valor que multiplicado por el coeficiente de temperatura del imán nos da la corrección de temperatura:

$\alpha_z \times \Delta_t = +0,67 \times -1,25 = -0,8375$.

Promedio de las lecturas: $S_1 = 44,66$ } $S_1 + S_2 = 90,40$.
 » » » $S_2 = 45,74$

y por lo tanto, $S_m = 45,20$

y aplicando a este valor la corrección de temperatura, tendremos:

S_c (S corregida) = $45,20 - 0,8375 = 44,36$.

Por la razón antes indicada, adoptaremos ahora una base para los valores S, procurando sea menor que todos los encontrados para evitarnos signos negativos. Tomando, por ejemplo, $S_b = 40,00$ y restando esta cifra de la anteriormente encontrada $S_c = 44,36$, obtendremos un valor que multiplicado por el coeficiente de sensibilidad del aparato nos dará ya en γ la intensidad relativa de la componente vertical del campo en ese punto, que es

$44,36 - 40 = 4,36$; $4,36 \times 21,7 = 95 \gamma$, en números redondos.

A esta cifra es a la que hay que aplicar por fin la corrección de la variación diurna dada por el observatorio que consiste en sumar o restar el número de γ que acuse el observatorio como variación en defecto o exceso de la intensidad vertical del magnetismo terrestre con relación a un valor arbitrario tomado como base en el mismo día y hora precisa de la observación. De este modo se obtiene en definitiva, la verdadera intensidad relativa de la componente vertical del campo magnético en dicho punto. Se precisa después calcular la intensidad teórica que corresponde a este punto de la Tierra supuesta homogénea, para llegar por diferencia a conocer la anomalía que presenta.

Supongamos hechas en el día seis estaciones más, cada una 2 kilómetros al N. M. de la anterior y que volvamos a la base para cerrar y obtenemos un valor que no difiere gran cosa del anterior; el aparato no habrá sufrido lógicamente variación de estado importante y esa diferencia puede achacarse muy bien a la variación misma del magnetismo, que no se conoce en el campo, a menos de contar con un observatorio portátil. Pero supongamos ahora que entre los valores de las dos estaciones hechas en la base existe una diferencia considerable; entonces no cabe duda que ha habido cambio de estado en el aparato,

debido en la mayoría de los casos a trepidaciones.

El problema que se presenta es tratar de averiguar entre qué estaciones ha dado el aparato el salto, para llegar a precisar cual de los dos valores hallados para la base es el verdadero, y si esto no es posible, ya sólo la práctica, intuición y el conocimiento perfecto de la teoría y el aparato, pueden aconsejar al observador elegir, entre los varios que hay para esta clase de cálculos, el sistema de corrección más adecuado.

Vamos a suponer ahora que hechas todas las correcciones llegamos a los siguientes valores definitivos para la base y las seis estaciones del día:

B)	95 γ
1)	109 γ
2)	116 γ
3)	100 γ
4)	101 γ
5)	147 γ
6)	170 γ

Restando el valor de la base de los de cada una de las seis estaciones, obtendremos para los incrementos respectivos:

$\Delta_1 =$	15 γ
$\Delta_2 =$	22 γ
$\Delta_3 =$	6 γ
$\Delta_4 =$	7 γ
$\Delta_5 =$	53 γ
$\Delta_6 =$	76 γ

Ahora bien, se recordará que, teóricamente, la intensidad vertical va creciendo a medida que se avanza hacia el N. M., y que, por consiguiente, este incremento teórico que varía de unos sitios a otros, es necesario eliminarlo restándolo a los encontrados en las diferentes estaciones

con objeto de obtener el producido como consecuencia de la naturaleza del terreno o sea la anomalía en cada punto.

En la región que nos ocupa, este incremento puede fijarse en 5 por cada kilómetro de avance hacia el N. M.; y como hemos supuesto las estaciones hechas cada una 2 kilómetros al N. M. de la anterior, de una a otra debe aumentar en 10 γ la intensidad vertical.

Restando pues de los valores encontrados antes los que representen este incremento teórico obtendremos:

1)	+ 5 γ
2)	+ 2 γ
3)	- 17 γ
4)	- 33 γ
5)	+ 3 γ
6)	+ 16 γ

que son las diferentes anomalías para cada uno de los puntos en que se ha hecho estación.

Los valores obtenidos para las estaciones 1, 2 y 5 son tan pequeños que pueden considerarse nulos y por consiguiente deducirse que en esos puntos, la intensidad es la normal y no hay causa ninguna oculta que produzca anomalía, o, lo que es igual, que el terreno es análogo al de la base. En cambio los hallados para las estaciones 3, 4 y 6 acusan una anomalía negativa en las dos primeras y una positiva en la última, o sea, la existencia en los 3 y 4 de una masa oculta de menor intensidad magnética que el terreno normal de la base, y por el contrario la presencia en la 6 de otro de mayor intensidad. En nuestro caso podría por lo tanto afirmarse la existencia de la sal en la zona que comprende a las estaciones 3.^a y 4.^a. La anomalía positiva de la 6.^a, que es pequeña puede ser debida a un cambio en la naturaleza o composición de la ro-

ca, por ejemplo, una más fuerte impregnación de hierro u otra causa análoga.

Los cálculos para encontrar los valores de la intensidad horizontal, son exactamente iguales, pero como ya se dijo, para esta clase de experiencias los que se usan de preferencia por reflejar mejor los resultados, son los correspondientes a la intensidad vertical.

Si una vez calculados, como queda indicado, todos los valores de la región estudiada, se colocan sobre un mapa y se trazan las líneas que unen los de igual magnitud, se obtendrá las isodinamas de la intensidad vertical, pero teniendo en cuenta que al geólogo que pretende determinar las condiciones de la estructura del subsuelo, sólo le interesa los valores de las anomalías locales, lo que se hace en la práctica es consignar los valores hallados para estas anomalías y unir los puntos que presenten los mismos valores, obteniendo entonces un sistema de líneas que serían las isanómalas de la componente vertical. Para tener una más precisa representación en curvas de la influencia de las anomalías locales, lo que se hace es interpolar entre estas curvas, primeramente obtenidas, otras cuyo número dependerá del valor que se quiera fijar para cada una de ellas de la misma manera que se fija en un plano topográfico el nivel que corresponde a cada curva.

Como ejemplo clásico de investigación geológica por el procedimiento magnético se cita el realizado por F. Schuh al SO. de Mecklenburgo. La primera condición para operar por este procedimiento es disponer de un mapa bueno de la región. En el caso que nos ocupa se contaba con un mapa en escala 1:25.000 de la comarca que se quería investigar, mejor dicho de la comarca en que se iban a verificar y controlar los procedimientos magnéti-

cos. La región elegida es la de los valles de Urotron-Elba, a los que afluyen los ríos Krainke, Roguitz y Sude, así como la meseta diluvial surcada por los dos últimos ríos y el Elde.

En esta zona se sabía existía una gran masa salina con una separación muy precisa con las rocas colindantes. La formación está muy plegada con grandes variaciones en los espesores de las diferentes rocas, pero el nivel inferior de la sal se conserva constante, de modo que las perturbaciones magnéticas que pueda producir la sal estarán en relación con los espesores de la misma. Se efectuaron muchos sondeos en la región, que han servido de comprobación de los resultados obtenidos. Se operó con un variómetro Schmidt.

Antes de realizar las medidas en el terreno se efectuaron en el observatorio magnético de Potsdam unas mediciones que tenían por objeto determinar la posición de la escala del variómetro que corresponde a un valor de la intensidad vertical Z que allí se tiene determinado con toda precisión. Se adoptó el valor de 42.959γ que corresponde a la posición 34,11 de la escala. También se determinó el número de unidades γ que aumenta o disminuye Z para el desplazamiento de una división de la escala. El resultado obtenido fué que por cada división varía la intensidad en $29,28 \gamma$. Se sabe que γ es igual a $0,00001$ centímetro-gramo-segundo. Como en el transcurso del tiempo varía el magnetismo terrestre, en otra medición hecha en Potsdam posteriormente, la sensibilidad de la balanza había variado, y el nuevo valor de una división de la escala fué de $30,2 \gamma$.

Operando ya en el terreno, el valor de Z de cada medición se determina por la fórmula $Z = Z_0 \times E(S - S_0)$ en la cual Z_0 es el valor básico, E la sensibilidad cuyo valor se

ha dado; S_0 la posición de la escala correspondiente al valor básico y S la correspondiente a cada medición.

Si calculados todos los valores de Z se trazan las líneas que unen las de igual magnitud, se tienen las líneas isodinamas.

En una comarca cualquiera de cierta extensión las magnitudes de la intensidad correspondientes al campo magnético terrestre normal vienen modificadas por dos clases de anomalías, unas que afectan a una zona extensa que se pueden llamar regionales, y otras locales que son las que están más en relación con la estructura del suelo y que son las que verdaderamente interesan al geólogo.

En la investigación realizada por Schuh las influencias regionales estaban determinadas por un trabajo realizado por Ad. Schmidt sobre la medición magnética de primer orden de Prusia y Estados del Norte de Alemania, presentando un mapa con los valores de Z , pero en los que no se han tenido en cuenta las perturbaciones locales. Las curvas de Schmidt fueron llevadas al plano de Schuh realizando las interpolaciones convenientes, y se dejó invariable el valor de la estación situada más al Norte, en Marwedel. Teniendo en cuenta las anomalías locales después de los experimentos realizados sobre el terreno por Schuh, se han unido los puntos de igual intensidad vertical en el plano por líneas isanómalas.

En la determinación de estos valores lo importante son los datos relativos entre unas y otras estaciones y relacionarlos bien con una medida fija. La de Marwedel en nuestro ejemplo presentó una diferencia en el valor de Z de 670 con la de Potsdam, lo que daría para la comarca una anomalía negativa porque ninguno de los valores que se determinaron en Mecklenburgo llegó a esa cifra.

Pero para el objeto del geólogo lo mismo da referirse a una que a otra estación.

El valor básico en las observaciones hechas por Schuh en Postdam varía mucho del principio al final de los experimentos. Esta variación fué tan grande que los resultados obtenidos no hubieran tenido ningún valor, si no se hubieran repetido hasta 53 veces las mediciones en diferentes días, pues sólo de este modo se pudieron dar cuenta de la variación del instrumento en el transcurso del tiempo. De todas maneras Schuh recomienda que se haga todos los días una medición en un mismo lugar.

Schuh construyó primeramente la curva de las correcciones para las distintas estaciones calculando los valores de estas para cada día. Para ello se determina la media aritmética entre las diferencias de los valores obtenidos en la misma estación en dos días determinados. Las cuatro mediciones de Marwedel nos suministran 4 puntos fijos de la curva. Como abscisas se toman los días de observación y como ordenadas los valores medios de las diferencias.

Terminados los cálculos, habiendo hecho las debidas correcciones según se deduce del esquema gráfico que se debe haber hecho anteriormente, se colocarán sobre el plano los valores obtenidos trazando las líneas isanómalas con una separación de 10γ . En el plano presentado por Schuh (fig. 26) están representadas las isanómalas rayando con diferentes signos las zonas que se diferencian en 30γ o sean las de valores menores de 300; de 300 a 330γ ; de 330 a 360 y mayores de 360.

Del examen del plano se deduce que el trazado de las isanómalas no es irregular, sino que parece predominan dos direcciones próximamente perpendiculares entre sí. Uno de los grupos de estas líneas tiene la dirección

NO.-SE. y otros SO.-NE. En muchos lugares ambos se entrecruzan. En ciertas zonas predomina una de las direcciones y en otras la otra, y parece deben tener su origen estas particularidades en la estructura geológica.

La forma y valor representativas de las isanómalas son expresión de alguna causa geológica y Schuh las atribuye a la existencia del yacimiento salino. Los sondeos realizados han venido a comprobar en todas sus partes los resultados obtenidos con los variómetros. Algunas pequeñas diferencias observadas entre unos y otros procedimientos de investigación pueden ser atribuidas a que, como los puntos que unidos dan lugar a las líneas isanómalas no estaban muy cerca, se pueden haber trazado éstas con una cierta arbitrariedad.

Schuh, en la zona investigada magnéticamente, ha llegado a una interpretación de los resultados que ayudan al esclarecimiento de la posición y extensión de los yacimientos salinos y dan una idea de las condiciones tectónicas generales de la comarca.

En líneas generales, en las zonas que se han obtenido pequeños valores, podemos afirmar que existe yeso y sal como lo indican los sondeos realizados. En la zona Norte de la región investigada corresponde la existencia de dichas sustancias a valores inferiores a 330 y 340 y la zona Sur a valores inferiores a 310 y 320.

Llega también Schuh a las siguientes interesantes conclusiones (ver plano): 1.º Existe una zona Norte de valores pequeños limitada por Langenheide-Garlitz-Warltitz-Patow. Los valores son inferiores a 330º y existe en ella una capa de sal y yeso cubierta con una potente sedimentación terciaria y diluvial.

2.º Existe una segunda zona de valores pequeños situada entre Lubtheen y Alt Yabel que queda dividida en

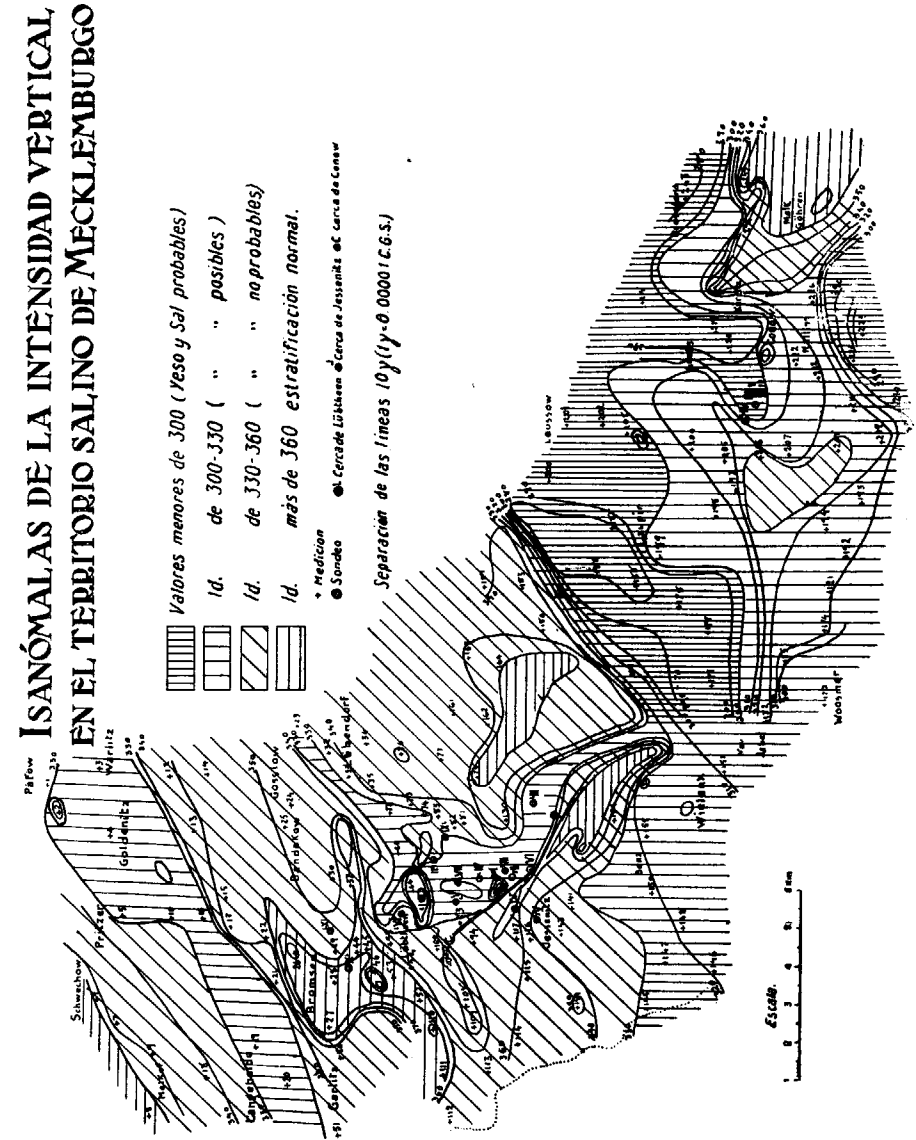
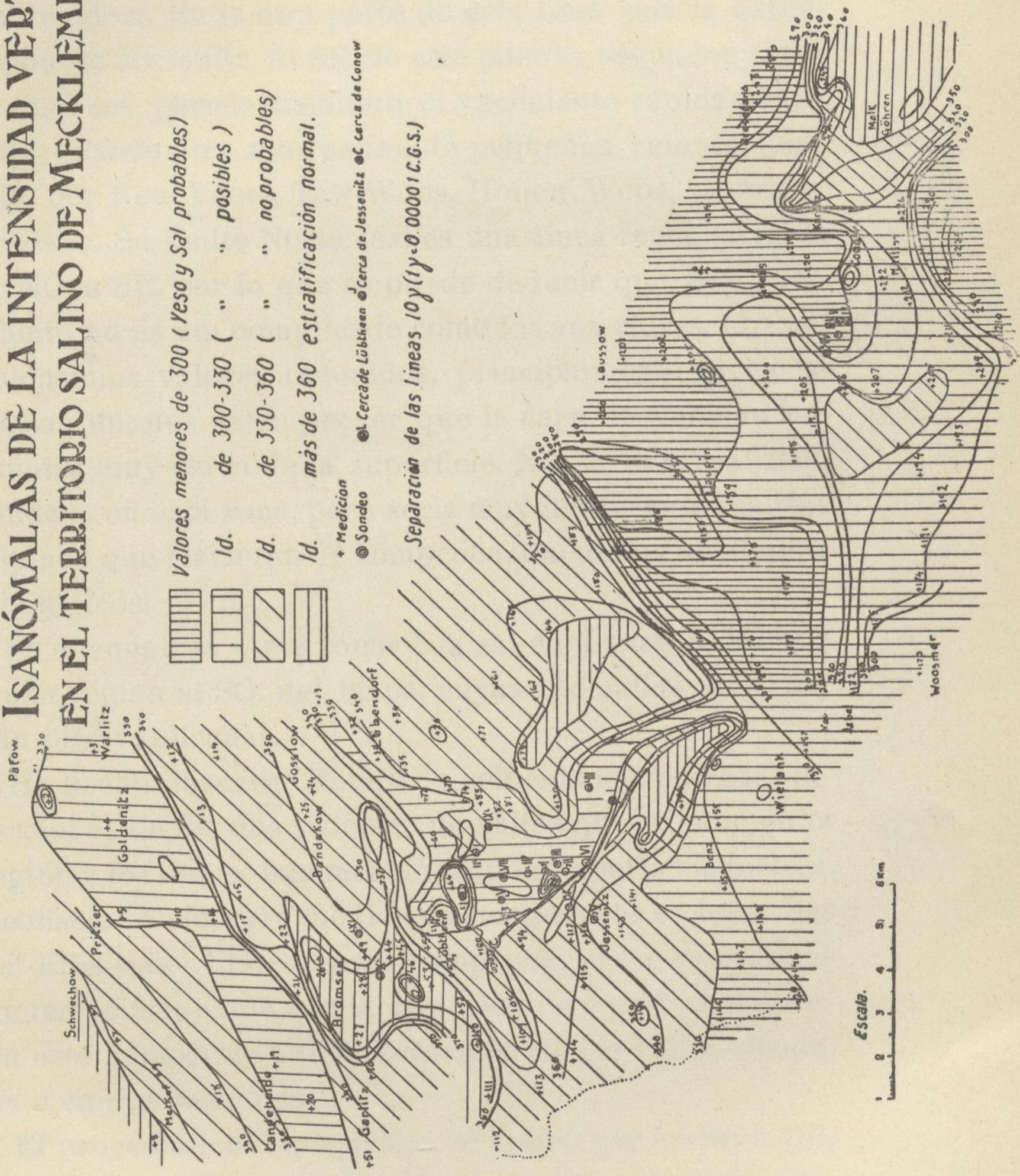


Fig. 26

ISANÓMALAS DE LA INTENSIDAD VERTICAL EN EL TERRITORIO SALINO DE MECKLEMBURGO



- Valores menores de 300 (Yeso y Sal probables)
- Id. de 300-330 (" " posibles)
- Id. de 330-360 (" " no probables)
- Id. más de 360 estratificación normal.

Fig. 26

dos partes por la explotación de la mina Friedrich Franz, cuyo pozo maestro se ha inundado. En el caso que esto no hubiera sucedido, el mapa magnético indica que el laboreo hubiera podido continuarse en dirección NE. hacia Lubendorf. En la otra parte de esta zona está la explotación de Jessenitz. Al SE. de este pueblo, según los datos magnéticos, parece disminuir el yacimiento rápidamente.

3.º Existe otra zona salina de pequeños valores, limitada por Neu Yabel, Tew Woos, Hohen Woos, Laupin y Leusson. Su límite Norte casi es una línea recta dirigida de NO. a SE. por lo que se puede deducir que este yacimiento no es tan complicado como los anteriores. Los pequeños valores obtenidos, principalmente al Norte de Laupin, nos dejan prever que la capa de yeso se encuentra muy cerca de la superficie. No se han realizado sondeos en esta zona, pero sería muy interesante realizar algunos que sirvieran de comprobación de los resultados magnéticos.

Se encuentran otras zonas con sal en Lensson, Karenz y una región al SO. del mapa, cuyas anomalías no están aún bien explicadas.

Ha hecho observar Geinitz la coincidencia entre las direcciones de los dos sistemas de valles que existen en la región y los que se han mencionado en la carta magnética. Aconseja se efectúen mediciones magnéticas en los valles del Elba o del Urstron para comprobar si las isanómalas siguen coincidiendo con la dirección de aquéllos. Parecería esto demostrar que la formación de los valles obedecía a causas tectónicas.

El procedimiento magnético se aplicó por los Sres. Gil, Barandica y Miláns del Bosch a la cuenca potásica catalana, precisamente en el mismo sitio y con iguales fines que donde se aplicó la balanza de torsión, según hemos

indicado anteriormente. Aunque su primera idea fué el determinar las componentes vertical y horizontal, para lo que fueron provistos de dos variómetros Semidt, vertical y horizontal, y de un teodolito magnético Sartorius, las deficiencias de construcción del segundo de los aparatos citados hizo que sólo determinaran la componente vertical Z.

Se determinaron previamente las constantes del aparato empleado que son: coeficiente de temperatura del imán 0,67, es decir, que 0,67 es la variación en divisiones de la escala correspondiente a un grado de temperatura.

Sensibilidad actual del aparato 21,7, es decir, que cada división de la escala corresponde a 21,7.

Se eligió en la zona reducida que se iba a recorrer una estación base y se refirió a ella todas las medidas hechas en las demás, pues lo que interesa son las diferencias relativas o anomalías.

Como comprobación se repitió cada día la última estación observada el día anterior.

El número de lecturas que se hicieron fué de cinco, generalmente no se pasa de seis, y se adoptó como bueno un promedio cuando la diferencia máxima entre ellos no era superior a 0,2 o 0,3 de división. Si se ha elegido bien el sitio y se han tomado todas las precauciones debidas, las diferencias entre las observaciones serán admisibles a no ser que existan grandes perturbaciones temporales del magnetismo terrestre, fenómeno imposible de conocer en el campo y que será preciso tener en cuenta en los cálculos cuando se conozcan los datos de las variaciones diurnas que haya podido dar el observatorio más próximo. Para ello se toman las horas exactas en las observaciones.

Expuesta ya la práctica del manejo de los aparatos y

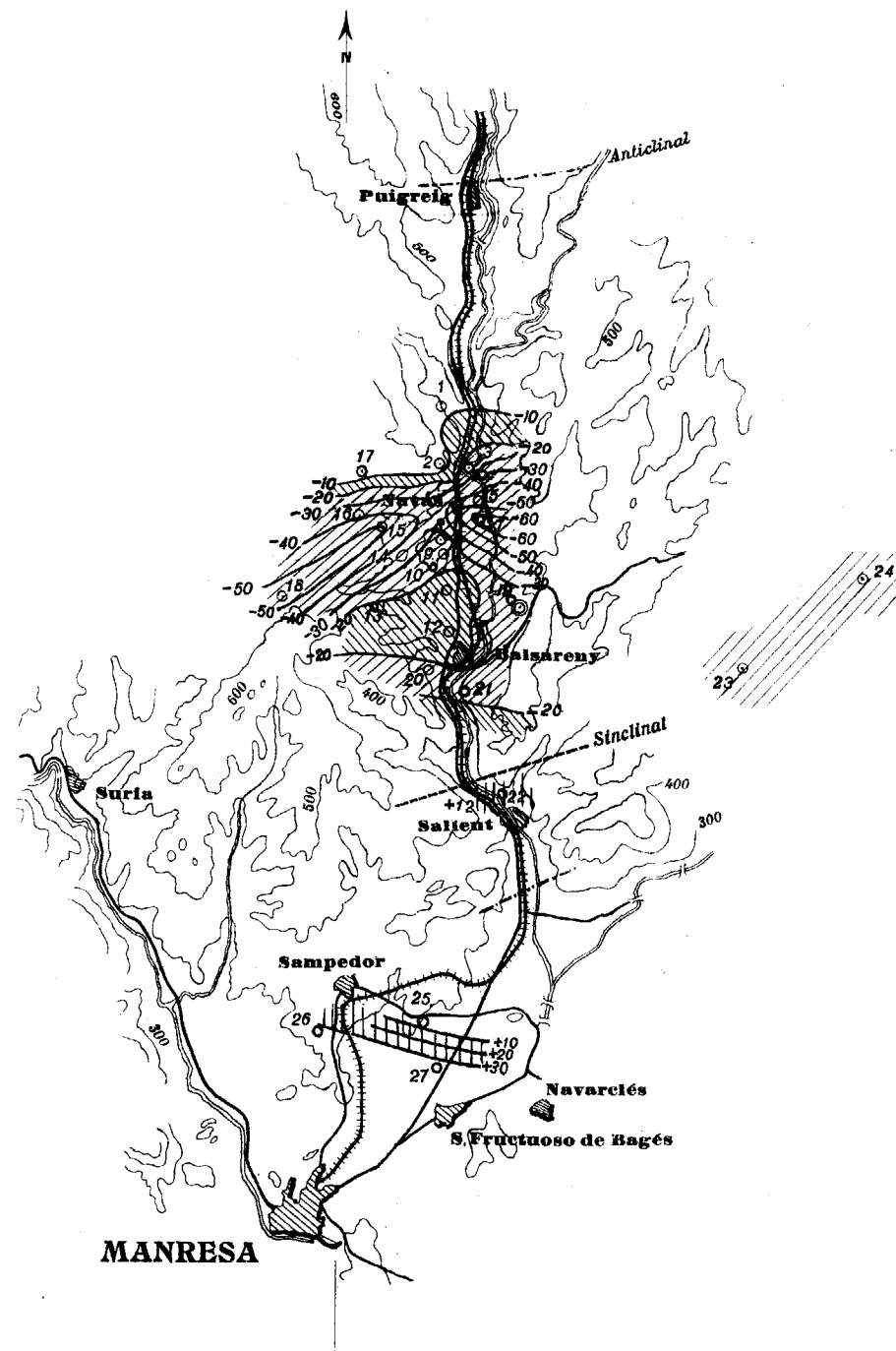


Fig. 26 bis

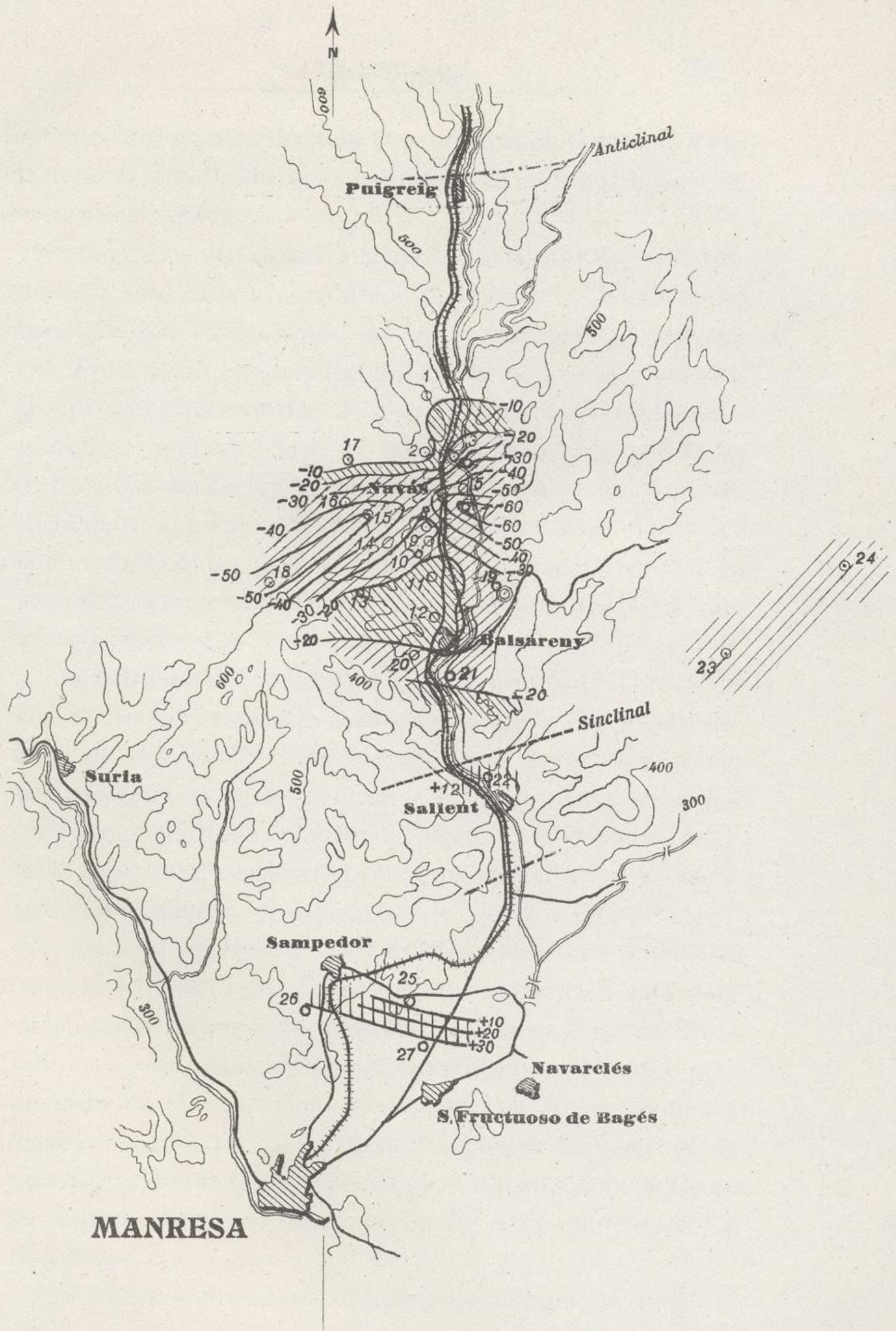


Fig. 26 bis

cálculos subsiguientes para una observación, vamos a entrar en el detalle de las efectuadas en el trabajo de que estamos tratando.

Como antes se ha dicho la parte principal de este trabajo ha sido encaminada a comprobar el borde Norte del banco salino acusado por las observaciones gravimétricas. Pero como además habían de efectuarse las observaciones complementarias de que luego hablaremos, se eligió como estación base de todo el trabajo y punto de comprobación de las variaciones de estado del aparato empleado, el punto designado con la letra *B* en el croquis que se acompaña. Este punto se ha tomado cerca del límite de los terrenos eoceno y oligoceno, siendo por lo tanto muy apropiado para su objeto.

Las estaciones observadas para el objeto principal indicado fueron las designadas en el croquis con los números 1 al 12 inclusive. Para comprobar la extensión del banco salino en la dirección de Suria se observaron las estaciones marcadas con los números 13 al 18. Igualmente se trató de determinar la extensión de la sal comprobada en el sondeo de Balsareny, y a este efecto se observaron las estaciones 19, 20 y 21. La estación número 22 tiene por objeto comprobar una aparente anomalía acusada por la balanza de torsión al Norte de Sallent. También se quiso tener algún indicio respecto al sondeo proyectado en Avinyó y a este objeto se observaron las estaciones 23 y 24. Por último, para tener la certitud de que al Sur de la línea Sampedor, Cabrianas, no existen ya indicios de sal se observaron las tres estaciones 25, 26 y 27.

Los valores obtenidos, después de efectuadas todas las necesarias correcciones, y referidos al punto base tomado como origen son las siguientes:

ESTACIONES	VALORES RELATIVOS OBTENIDOS
Base.....	0
1	-- 9
2	— 5
3	—23
4	—26
5	—42
6	—35
7	—66
8	—22
9	—24
10	—24
11	—10
12	—13
13	—18
14	—33
15	—50
16	—38
17	— 3
18	—54
19	—29
20	—23
21	—25
22	+12
23	—55
24	—32
25	— 1
26	—34
27	—37

Con los valores obtenidos para las 21 estaciones correspondientes a los tres primeros grupos en que hemos di-

vidido el total de ellas, así como con los correspondientes a las tres últimas, se ha efectuado el trazado de curvas isanómalas (ver croquis). Las zonas que presentan anomalías negativas cuyo valor absoluto excede a 20 γ las hemos considerado como de sal probable, estando marcadas en el plano con rayas inclinadas a la izquierda; las que presentan anomalías negativas, también con respecto a la base, cuyo valor absoluto oscila entre 10 y 20 γ , las aceptamos como de sal posible, apareciendo con un rayado inclinado a la derecha; y por último, la zona situada al Sur, que presenta anomalías positivas con respecto a la base, es considerada como de sal no probable y está representada en el plano con trazos verticales.

La estación 22 (1), con su anomalía positiva, comprueba los resultados arrojados por la balanza de torsión para esa zona situada al Norte de Sallent.

Las estaciones 23 y 24 muestran, no solamente que el sondeo proyectado en Avinyó debe cortar el banco salino, sino que éste se extiende más allá al Este de dicha población.

Por último, las anomalías positivas que dan las estaciones 25, 26 y 27, indican que esa región está ya fuera del borde Sur de la sal, como era de esperar, y de acuerdo con lo que también ha indicado la balanza de torsión.

Procedimientos eléctricos.—Los métodos eléctricos pueden ser de dos clases, según que se apliquen a la ex-

(1) Insistimos sobre nuestro juicio acerca de que no creemos probable que no se prolongue el manto salino por el subsuelo del pueblo de Sallent. Los resultados obtenidos (en el procedimiento magnético en una sola estación) hay que explicarlos por la presencia del pliegue sinclinal que está indicado en el plano. Marín.

ploración de estratos, yacimientos o masas conductoras de electricidad o a la exploración de los que no lo sean.

Los primeros se investigan por medio de las corrientes eléctricas, los segundos por medio de las ondas eléctricas.

Generalmente las sustancias buenas conductoras de la electricidad como lo son ciertos filones y masas de metales, corrientes de aguas, etc., están enclavadas en rocas de poca conductibilidad eléctrica, como lo son en general casi todas las rocas sedimentarias. Esta diferencia de propiedades es la que se aprovecha para la investigación de las sustancias útiles, haciendo atravesar el subsuelo por corrientes eléctricas.

Si se tienen indicios de que en un determinado paraje de la corteza terrestre existen sustancias útiles, buenas conductoras de la electricidad, se escojen dos puntos del terreno que serán los polos, que disten entre sí 100 metros o más y que se sospeche que entre ellos existen las masas conductoras que se buscan. Entre estos dos polos se hace pasar una corriente alterna de unos 500 períodos, produciéndose entre ellos una tensión artificial. Después por medio de electrodos auxiliares y por medio de un teléfono interpuesto en los conductores aislados que llevan la tensión a estos puntos, se van determinando los puntos de la misma tensión. En éstos, en el teléfono no se oirá sonido alguno; en cambio se oirá un sonido claro en cuanto la conductibilidad del suelo pase de una cifra muy reducida. De este modo se pueden ir determinando las líneas equipotenciales del terreno comprendido entre los dos polos y la forma de ellos dependerá de la distribución de las masas de diferente conductibilidad en el suelo. En los puntos en que confluyen las líneas de corriente, tienen que encontrarse los yacimientos de subs-

tancias conductoras que se investiguen. La interpretación de los resultados exige un caudal grande de experiencia en la persona que opere. En la figura 27 se puede ver la interpretación de los resultados obtenidos, que muy bien puede representar el salto de un filón de hierro.

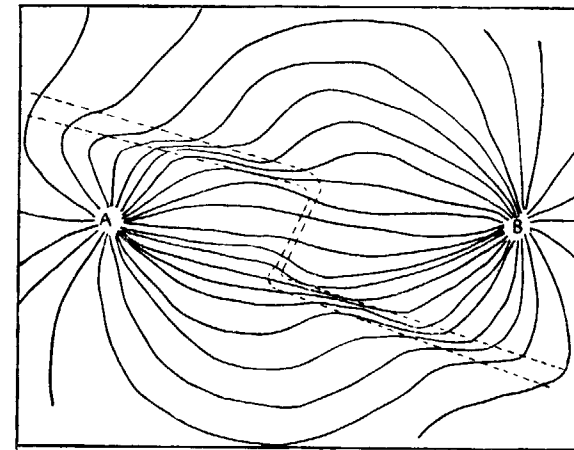


Fig. 27

Este procedimiento se ha aplicado también en las minas de sales potásicas para investigar el origen de las avenidas de aguas salinas. Ya hemos indicado anteriormente la importancia que tiene en la explotación de criaderos potásicos la aparición de una corriente de agua rica en sales potásicas y determinar si procede de una de las muchas bolsadas de agua que se encuentran enclavadas en las masas salinas desde la formación del criadero, o si tienen su origen en corrientes de agua que circulan por el techo del criadero y que por causas diversas puede atravesar a éste y cargarse de sales potásicas. En el primer caso no hay peligro para la explotación, en el segundo puede ocasionar grandes perjuicios.

Para aplicar el procedimiento eléctrico se determina la resistencia eléctrica entre el punto de salida de las lejías y un conductor sumergido en la capa acuífera existente encima del yacimiento de la que se sospeche proporciona el agua que se introduce en el criadero. Si la resistencia entre dichos dos puntos se conserva superior a una cifra determinada por la experiencia, se puede afirmar que la avenida de agua procede de una bolsada primitiva y que no hay peligro para la seguridad de la mina. La razón es clara, la sal es muy mala conductora de la corriente eléctrica y si el agua está cargada de ella y rodeada de sal, la diferencia de resistencia eléctrica con una corriente de agua buena conductora de electricidad será grande. En cambio si la resistencia es pequeña puede colegirse que existe comunicación entre la lejía que se ha presentado en la mina y la capa acuífera superior, y será preciso proceder a tomar las medidas necesarias para evitar los peligros grandes que esto trae consigo. Sin embargo esta afirmación no puede ser absoluta porque existe la posibilidad de que la corriente de agua procedente de una bolsada tenga una comunicación con tierra antes de que aquélla surja a través de las labores mineras y que esta comunicación no peligrosa simule una directa entre las aguas salinas que han hecho su irrupción en la mina y las de encima del yacimiento. Es preciso para determinar bien el origen del agua y resolver la duda que acabamos de exponer hacer la medida sistemática de la resistencia eléctrica en todos los puntos de filtración y de salida de aguas salinas.

Un procedimiento electrodinámico se puede también aplicar en este caso que suele dar buenos resultados y consiste en hacer un circuito (fig. 28) valiéndose de la grieta por donde salen las aguas, por un hilo aislado que se

lleva por galerías y pozo de la mina y que se termina en la capa acuífera superior al yacimiento, y que en la mayor parte de los casos es conocida su posición por los trabajos de los pozos y sondeos. El circuito quedará terminado en el caso perjudicial a la seguridad de la mina, con la corriente de agua que pasa de la capa acuífera al sitio

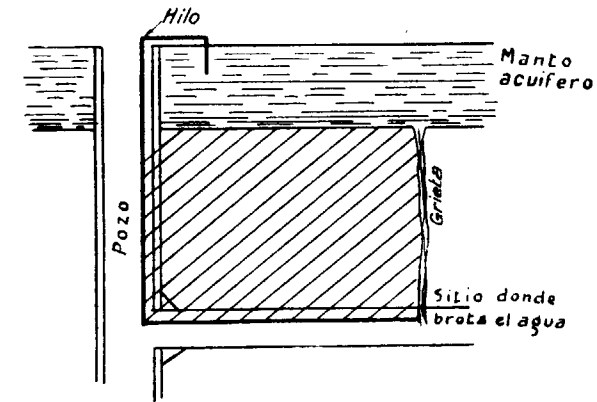


Fig. 28

donde surge en la mina. Se puede determinar en este circuito su autoinducción por medio de procedimientos sencillos y deducir la magnitud de la superficie envuelta por el circuito, y como se conoce la longitud y porción del hilo aislado y de la capa acuífera por el plano de la mina, se puede deducir el lado desconocido del polígono, o sea la porción y longitud de la grieta comunicante entre la capa acuífera y el punto de emergencia de las aguas salinas en la mina, y por consiguiente, ya conocida la posición del conducto, se pueden tomar las medidas convenientes para evitar el mal.

Entre los procedimientos para contener las avenidas de aguas salinas peligrosas se encuentra el de inyección de

cemento, procedimiento del cual nos ocuparemos en el capítulo VI. Para poder contrastar con la mayor precisión el resultado que van dando las inyecciones de cemento para la consolidación del terreno, se emplean también los procedimientos eléctricos. Las zonas muy infiltradas de agua se diferencian de aquellas que no lo están en que su conductibilidad eléctrica es mucho más elevada, y se comprenderá que haciendo mediciones de resistencia en los diferentes orificios, se puede ir contrastando los progresos de la cementación y aumentar las inyecciones de lechadas de cemento en aquellos sitios donde no progresa el fraguado y disminuirla en donde se vea que el cemento hace cuerpo con la roca.

Los procedimientos descritos anteriormente están fundados en la presencia de capas o masas conductoras de la electricidad. El procedimiento por medio de las ondas eléctricas se aplica para terrenos que no sean conductores y se comprende que la naturaleza presenta muchos casos de aplicación de este sistema de investigación.

En principio, las ondas eléctricas se propagan en todos sentidos mientras no tropiecen con superficies conductoras, como filones de mineral, corrientes de agua, capas de carbón, etc. Por consiguiente, se comprende que de la posibilidad de comunicar entre dos puntos cualquiera se pueden sacar consecuencias interesantes.

Por ejemplo, se puede deducir entre dos campos de explotación de sales potásicas si hay entre ambos corrientes de agua. También se puede determinar si entre dos puntos conocidos, por ejemplo, dos galerías, existen o no filones minerales. Conceptúan los propagadores de este sistema que haciendo un número escaso de estaciones se puede explorar un campo grande de un distrito minero.

El problema a resolver más difícil con este procedi-

miento consiste en hacer que las ondas atraviesen la corteza terrestre. Es difícil encontrar en la superficie terrestre estratos o masas lo suficientemente secos para que, atravesados por las antenas, se consiga que las ondas penetren en el suelo. Para obviar esta dificultad se ha inventado la antena de congelación. Consiste en entubar del modo corriente el orificio donde se va a clavar la antena y colocar dentro de él un tubo interno más delgado. Por el tubo interno se impele lejía muy fría; esta lejía asciende por el tubo exterior y después de enfriada nuevamente se le obliga a volver a hacer el mismo recorrido. Al cabo de un cierto tiempo el tubo externo, en toda su longitud, queda rodeado de una capa de hielo que constituye un aislamiento perfecto. Se usan los mismos líquidos que en el procedimiento Poeteh para perforación de pozos. Se utiliza este sistema de antena lo mismo para la estación emisora que para la receptora. De modo que **haciendo vibrar** la antena emisora las ondas se propagan por todo el seno de la **tierra hasta** que encuentran una substancia conductora. Como la constante **dieléctrica** del hielo es muy alta, son capaces de resistir esta clase de antenas una energía mucho mayor que las antenas tendidas en el aire.

Existen varios métodos de investigación por las ondas eléctricas. En el de reflexión se propagan primeramente las ondas por el interior de las rocas no conductoras sin obstáculo alguno, y luego se reflejan al llegar al límite entre estas rocas y la zona conductora, y se comparan entonces la dirección y la fase de las ondas reflejadas con las ondas no interrumpidas. Es preciso colocar los aparatos emisor y receptor de modo que no influyan directamente el uno sobre el otro. Modificando el emisor y el receptor hasta conseguir el máximo y el mínimo de recep-

ción se puede deducir la situación de la superficie reflectora. Así se puede llegar a determinar a la distancia a que se encuentra una capa acuífera de un manto salino.

El método de interferencia es más recomendable. Consiste en percibir al mismo tiempo las ondas transmitidas directamente del emisor al receptor y las ondas reflejadas por una superficie conductora incluida en el seno de la roca que no es conductora. Estas dos series de ondas se superponen y de esta superposición resultan interferencias.

En la fig. 29 están representados los sistemas de emisión y de percepción susceptibles de ajustarse el uno al otro dentro de una gran variedad de longitudes de onda por medio de los autoinductores J_1 - J_4 . La superficie se supone colocada detrás del papel y paralela a la superficie de éste. Cuando el camino recorrido por la onda reflejada

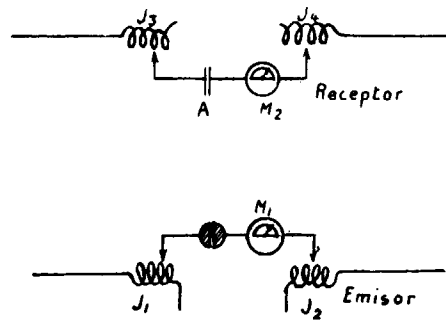


Fig. 29

es un múltiplo impar de unidad de longitud de onda o sea $1/2; 3/2; 5/2$, etc. de longitudes de onda mayor que el atravesado por la onda directa, ambas ondas se refuerzan, pero si el camino es un múltiplo par se debilitan mutuamente.

Es preciso tener también en cuenta la modificación de las fases que resultan de la reflexión y cuyo estudio hay que hacer por la experiencia. Modificando la distancia entre el emisor y el receptor y variando dentro de límites amplios la longitud de la onda emitida, se determinan con precisión el máximo y el mínimo de la recepción y se deducen con mucha seguridad la situación y la dirección de las sustancias conductoras buscadas.

El método llamado del cuarto de la longitud de onda es más sencillo que el anterior y es el más utilizado para la investigación de la corteza terrestre. Está fundado en que la antena reciba de un modo más inmediato que con el procedimiento anterior la influencia de la onda reflejada. Concurren las condiciones más favorables para que esto suceda, cuando la distancia de la superficie conductora buscada es tal que la diferencia con la longitud de onda emitida es de $1/4$ de longitud de onda.

En el sistema de oscilaciones existe la misma antena emisora del procedimiento anterior. Se hace pasar siempre la misma energía de corriente alterna al excitador de chispas y modificando la longitud de onda se siguen las variaciones de la intensidad de la corriente en un amperímetro interpuesto. En los sitios en que la intensidad de la corriente forma un máximo o un mínimo, se mide la longitud de las ondas por medio de un medidor de longitudes de onda intercalado, shuntado en el sistema con el cual se puede medir también la mitigación que puede existir. Operando de este modo se trabaja en un solo sitio y basta un solo observador.

Si se coloca la antena emisora de forma que sea aproximadamente paralela a la superficie conductora que se busca, que es el caso, por ejemplo, de investigar si hay una capa acuífera encima de un yacimiento salino, que en

la mayor parte de su extensión se presenta horizontal, la influencia de la onda reflejada sobre la intensidad de la corriente y sobre la amortiguación en el emisor resultará máxima cuando la capa reflectora se encuentre a una distancia de un cuarto de longitud de onda emitida. Por consiguiente, si fijo el emisor va lanzando sucesivamente ondas de longitudes crecientes, no variando ninguna de las demás condiciones, se obtendrán curvas que representarán la intensidad de la corriente del emisor y la amortiguación de las oscilaciones de éste en dependencia de la longitud de las ondas emitidas en cada momento y en estas curvas se obtienen máximos y mínimos cuando las longitudes de onda corresponden a $4/4$; $4/3$; $4/2$ y cuádruple de la distancia a que se encuentra la superficie conductora y, por consiguiente, se puede apreciar con este procedimiento, bastante bien, la posición en la corteza terrestre de la masa que se investiga. La antena suele ser de 50 metros, y tanto ella, como los demás aparatos, son fácilmente transportables.

Cuando la distancia a que se encuentra la superficie conductora que se busca es grande o cuando las dimensiones de ésta sean reducidas, la energía de la onda refleja será muy escasa y en este caso se puede montar una tras otra una antena emisora y una receptora, las dos en la misma dirección porque de esta manera se reduce al mínimo la influencia inmediata del emisor sobre el receptor.

El procedimiento fundado en la constante dieléctrica también tiene muchas aplicaciones. En él se aprovechan las propiedades de una antena en la que se producen oscilaciones eléctricas. La capacidad de una antena depende de su forma geométrica y de la constante dieléctrica del ambiente en que se encuentra. Ahora bien, esta cons-

tante tiene para el agua el valor 81, para las distintas rocas oscila entre 4 y 12 y para el aire de 1. Habiendo introducido la antena en un hoyo abierto en la tierra basta medir esta constante para tener una idea de la naturaleza de las rocas que le rodean. A veces bastan las observaciones hechas al practicar el hoyo para dar una idea suficiente de la constitución petrográfica del suelo; pero puede ocurrir que se atraviesen, al perforar el hoyo, con una pequeña veta del criadero cuya extensión sea muy reducida y la interpretación del procedimiento no sea exacta. Para evitar este inconveniente se introduce una antena en el taladro y la medida del aumento de su capacidad y la relación que guarda este aumento con la longitud de la antena proporciona un método muy eficaz de contrastar las medidas hechas.

Si introducimos la antena en un terreno de constitución uniforme, su capacidad aumenta de un modo regular según lo va haciendo su longitud; pero en cuanto el final de la antena llega a sitios en cuyas inmediaciones se encuentran sustancias de constantes dieléctricas diferentes, la capacidad aumenta bruscamente y de una manera desproporcionada y la forma en que se verifica esta modificación es la que sirve al observador para sacar consecuencias acerca de la naturaleza del suelo.

La figura 30 es un gráfico del Dr. Fredenhacen (1) en el que se ve la relación entre las longitudes de la onda propia (que es proporcional a la raíz cuadrada de la capacidad) de una antena que de trozo en trozo se va introduciendo en el terreno y la constitución de las rocas que se van atravesando. Se aprecia con gran claridad el paso

(1) Physikalische Aufschlussarbeiten in Bergbau. Revista Helios 1920, número 10.

de la punta de la antena de la anhidrita húmeda a la sal seca. Después de atravesada la sal se sigue en ella muchos metros porque la longitud de onda aumenta de una manera uniforme como se produce al atravesar un campo de igual constante dieléctrica.

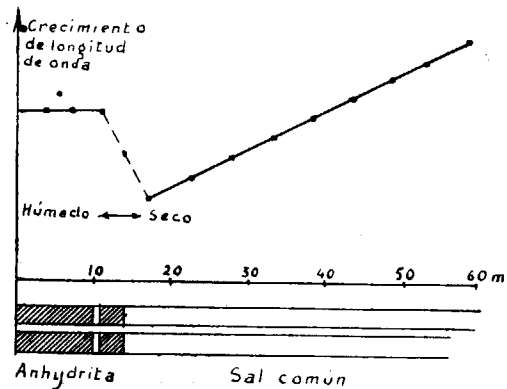


Fig. 30

La influencia sobre la antena resulta más favorable cuando se mide la capacidad por medio de las oscilaciones eléctricas provocadas en el hilo sumergido, teniendo en cuenta la capacidad del extremo externo. De este modo se manifiestan enseguida, porque aumenta mucho la amortiguación de las oscilaciones las zonas de humedad del terreno.

Procedimientos sísmicos de investigación.—Otros de los procedimientos geofísicos de investigación de criaderos minerales son los nombrados sísmicos, o sean los fundados en producir un sismo artificial y registrar el efecto de las ondas elásticas producidas en un aparato sísmico.

El modo de esparcirse la onda sirve para la determinación de la profundidad, naturaleza y potencia de los estratos y de los yacimientos minerales.

El Dr. Mintrop es autor del procedimiento, de entre los de esta índole, que está más en boga, y se han creado algunas sociedades que aplican este procedimiento para la investigación de criaderos salinos, petróleos, cuencas carboníferas, etc. Se comprende bien la importancia que puede alcanzar este procedimiento cuando se han llegado a construir aparatos, como el instalado en el campo de tiro de la casa Krupp, que era de tal precisión que registraba el paso de una persona a 100 metros y el de un tren a 10 kilómetros. El procedimiento consiste en provocar sacudidas artificiales mediante pequeñas explosiones o por un sistema de golpes producidos por un aparato adecuado, constituido esencialmente por una bola de plomo unida a un grueso resorte plano susceptible de entrar en vibración. La bola está, además, unida a una gran palanca provista de un muelle y que se aplica contra un astil vertical. Para registrar las oscilaciones de éste, va unido al mismo un espejo, y existe, además, un dispositivo que se mueve a gran velocidad y que lleva una banda de papel sensible. Un péndulo apropiado sirve para indicar la unidad de tiempo. En el caso en que se empleen barrenos es preciso tener en cuenta la velocidad del sonido para establecer exactamente el instante preciso en que la explosión tuvo lugar, y por lo tanto, el tiempo necesario para el transcurso de la onda.

A consecuencia de la explosión o por las sacudidas producidas en la forma indicada, se producen en el aire y en la tierra ondas. En el aire, una semiesférica primeramente comprimida, a la que sigue una expansiva. En la tierra, como ésta tiene una elasticidad que no sólo afecta

al volumen, sino también a la forma, se produce una onda longitudinal y otra transversal. Además se producen ondas superficiales. Las ondas aéreas producen ondas terrestres, y éstas, a su vez, producen aquéllas, de modo que a grandes distancias del sitio donde se produjeron las ondas, los fenómenos de éstas se complican mucho, sobre todo teniendo en cuenta la falta de homogeneidad de la tierra, que hace producir en las ondas infracciones y reflexiones. El examen de estas perturbaciones es el principio científico del procedimiento que nos ocupa. Es preciso, pues, recoger y observar bien las ondas terrestres. Éstas ponen en movimiento un punto oscilante puesto expreso en la superficie de la tierra y la resultante de este movimiento puede descomponerse en tres componentes perpendiculares entre sí, de las cuales dos pueden trasladarse a la superficie horizontal y la tercera es vertical. Por consiguiente, si se puede medir el valor de estas componentes quedará determinado el movimiento de la tierra.

Para medir las componentes horizontales se emplea un peso suspendido o colocado pendularmente, y para medir la vertical un peso suspendido a un muelle. El desplazamiento del peso con respecto al punto de suspensión unido invariablemente a la tierra se puede registrar en una tira de papel móvil. Este es el principio de los sismógrafos utilizados en el procedimiento sísmico de investigación. Existen muchos modelos de los cuales nosotros no vamos a hacer la descripción, pero sí indicaremos que son aparatos frecuentemente empleados en esta clase de investigaciones, el sismógrafo horizontal sencillo, con registrador de superficie ahumada, construido por la casa Spindler und Hoyer de Göttingen, construido según los principios científicos de E. Wiechert; el sismógrafo hori-

zontal para rápidos movimientos del suelo, con péndulo invertido y ampliación mecánico-óptica de 50.000 veces, de Wiechert-Mintrop, y el sismógrafo vertical sencillo, con registrador de superficie ahumada, según E. Wiechert.



Fig. 31.—Modo de producir las ondas, su propagación y registro sísmico.

Se opera ocasionando varias sacudidas a distintas distancias del aparato registrador. Después, valiéndose del cálculo de las velocidades de propagación de las



Fig. 32. Modo de registrar una explosión por el procedimiento sísmico.

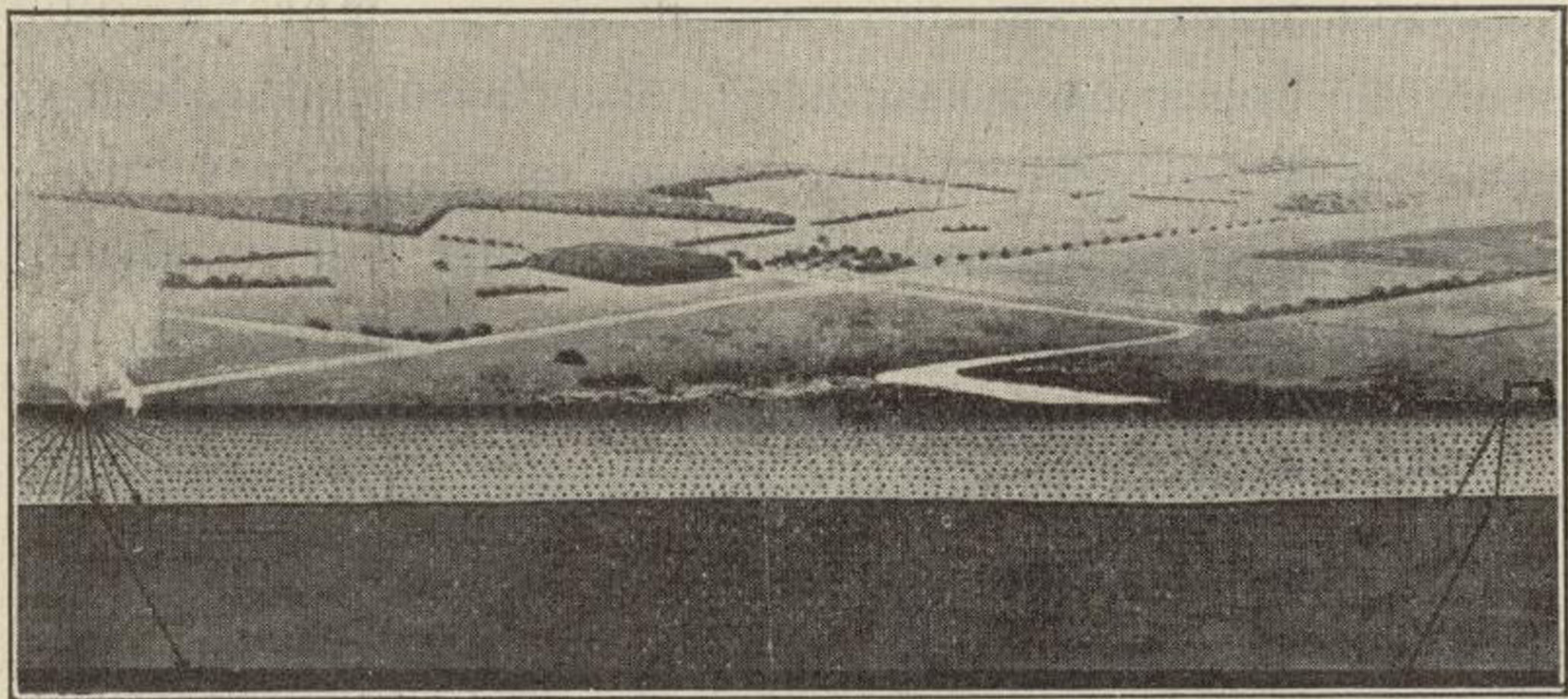


Fig. 31.—Modo de producir las ondas, su propagación y registro sísmico.

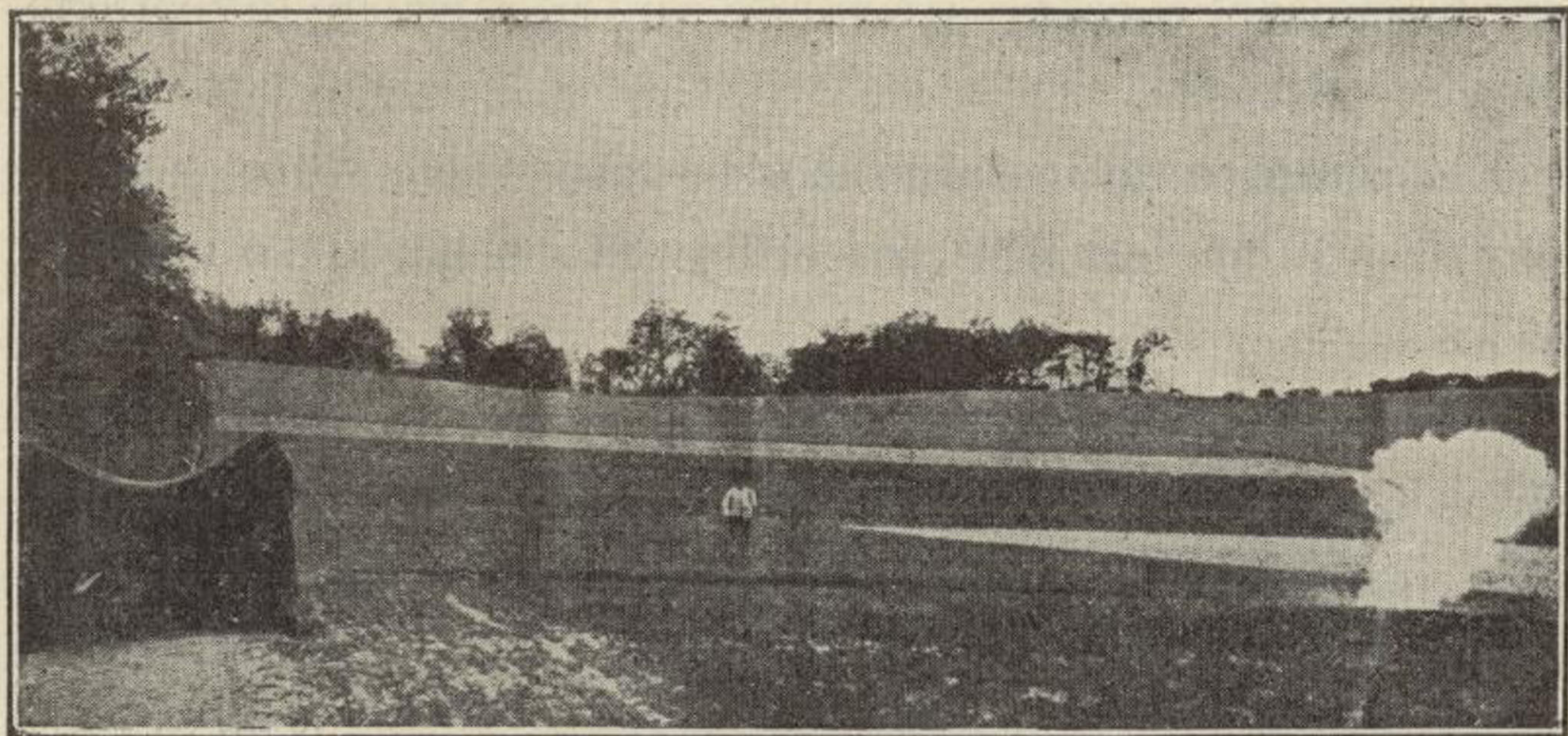


Fig. 32.—Modo de registrar una explosión por el procedimiento sísmico.

ondas a diferentes profundidades bajo la superficie y también de las mismas profundidades correspondientes según las teorías de la sismología, especialmente de la de Wiechert, sobre las ondas sísmicas y considerando que a cada roca corresponde una velocidad determinada que depende de su elasticidad y densidad, se comprende que se puede llegar a averiguar la profundidad, naturaleza y potencia de los criaderos, así como su dirección y buzamiento. Claro es, y en esto hay que insistir, que lo mismo en este procedimiento que en los otros geofísicos, la intervención del geólogo es completamente necesaria para la interpretación de los resultados obtenidos.

Los autores de este procedimiento preconizan que se llega con él a señalar las condiciones tectónicas y estratigráficas de terrenos geológicamente inexplorados; que se puede hallar la constitución petrográfica de las diferentes capas que forman el subsuelo, así como la determinación de sus profundidades y potencias. También manifiestan que se puede llegar a conocer la dirección y salto de las fallas, etc. es decir, como resumen, que por medio de estos aparatos se puede llegar a trazar un corte geológico del terreno sin tener que recurrir a investigaciones costosas.

El transporte de los aparatos es muy fácil y los gastos para la aplicación del procedimiento sísmico son reducidos.

Desde luego, este procedimiento como todos los geofísicos son auxiliares para el investigador, sin que creamos que, por ahora, se pueda prescindir por completo de los sondeos aunque reconozcamos que la orientación que prestan dichos procedimientos pueden llegar a economizar algunos.

La curva que se obtiene en las observaciones tomando

como eje de abscisas las distancias al centro de exploración y de ordenadas el tiempo empleado por las ondas, da una idea bastante clara de la constitución del terreno. Las ondas sísmicas siguen siempre el camino apropiado para llegar más pronto al receptor. Así que las ondas que sigan su camino por un estrato profundo y denso alcanzarán el receptor antes que las que van por el estrato superior y esto se traduce en una inflexión fuerte de la referida curva. En cambio en el caso de un anticlinal las curvas presentarán dos curvaturas en forma de sinusoides correspondiendo el cambio de curvatura al centro del pliegue. Lo mismo ocurrirá en el caso de un sinclinal, solamente que las curvaturas serán inversas.

Este procedimiento que ha sido empleado para la investigación de muchas clases de criaderos, ha sido empleado en el Norte de Alemania para determinar la constitución y forma de los anticlinales de la cuenca salina. El anticlinal investigado ha sido el de Hambühren, Steinförde, Wietze, de edad herciniana y cuyas partes SE. y NO. han sido bien determinadas por un gran número de sondeos, pero cuyo centro no está bien investigado por no saberse si existe unión entre ambas partes o si forman dos isleos separados.

Para la aplicación del procedimiento sísmico se valieron del mapa de la comarca representado en la hoja Win-

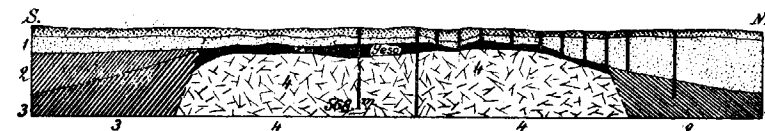


Fig. 33.- Corte transversal de la cúpula salina de Hambühren-Steinförde-Wietze.

1. Diluvial y terciario. 2. Cretáceo. 3. Jurásico. - 4. Cúpula salina.

sen a. d. Aller del mapa geológico 1:25.000 publicado por el Instituto Geológico Prusiano. Se reproduce en las figuras 33 y 34 un corte vertical y otro horizontal del pliegue, en el que se ha indicado en este último por líneas de puntos las dos hipótesis existentes: o un solo pliegue o dos elevaciones distintas.

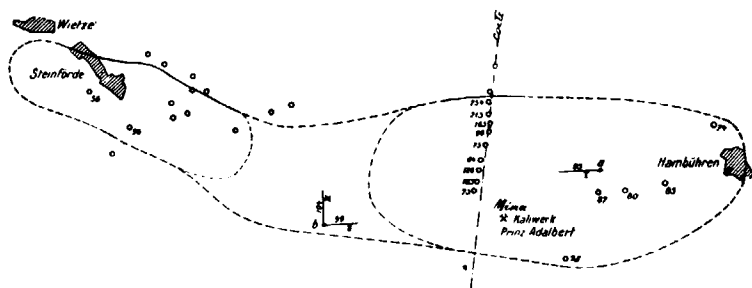


Fig. 34.—Corte horizontal de la cúpula salina de Hambühren-Steinförde-Wietze.

La Sociedad encargada de las investigaciones y la dirección de la mina «Prinz Adalbert», puestos de acuerdo, comenzaron las investigaciones en la zona Este que estaba muy bien reconocida por sondeos. Se efectuaron las explosiones en la línea I de la fig. 34, desde el punto *a* de la planta hacia el Oeste y por el examen de las ondas elásticas, se dedujo que la sal estaba a la profundidad de 95 metros, que coincidía con resultados ya conocidos, pues en un sondeo próximo se cortó la sal a la profundidad de 87 metros.

También se hicieron investigaciones por explosiones en el punto *b* situado entre las dos elevaciones o cúpulas supuestas por algunos y a 4 kilómetros al Oeste de la línea considerada como límite de la elevación Oeste. Se hicieron en dos sentidos, en uno de ellos dió profundidades para la sal de 99 metros y en el otro de 104 metros. Esto

parece demostrar que no existen las dos elevaciones que se suponía, sino que la sal sigue próximamente a la misma profundidad entre una y otra supuestas elevaciones. Esto parece se averiguó con solo un día de trabajo.

En la parte NO. en la elevación de Wietze, se han hecho otras muchas determinaciones que coinciden completamente con las labores de reconocimiento efectuadas en aquella región.

Se citan otros trabajos realizados a propuesta de una Sociedad de petróleos en el que le interesaba conocer si debajo del terciario que se presentaba en forma horizontal existía algún anticlinal salino que pudiera indicar la existencia de petróleo a su lado, que es la forma de presentarse esta substancia en el Norte de Alemania. Los resultados obtenidos demostraban que no existía tal anticlinal y sólo el cretáceo en estratificación casi horizontal.

Por último se puede con este procedimiento determinar pequeños anticlinales, fallas, cambios de terrenos, etc. Hoy se emplea este método en los Estados Unidos, México y América del Sur, Holanda, Bélgica, etc. al parecer con buen éxito.

Notas bibliográficas.—En estos últimos años se han escrito muchas monografías acerca de los procedimientos geofísicos de investigación, pero no creemos exista ningún libro en el que se trate con generalidad y extensión tan interesante materia. Tenemos entendido que el Doctor Richard Ambronn, prepara uno en este sentido pero creemos que aun no se ha dado a la publicidad. Las monografías y noticias sobre los procedimientos geofísicos debidos a los especialistas en la materia como Ambronn, Born, Heiland, Konigsberger, Nikiforov, Schweidar, Lasareff, Schuh, Schlumberger, Mintrop y otros muchos, están repartidos en revistas y publicaciones de todos los países. El Ingeniero de Minas Sr. Meseguer ha hecho una recopilación de algunas de ellas en los números de los días 16 y 24 de Septiembre y 1 de Octubre de 1926 de la Revista Minera de Madrid.

De las impresas en España antes del Congreso Geológico de Madrid nosotros hemos podido consultar las siguientes:

Ambronn (R).—Los métodos geofísicos. Revista Minera. 16 mayo 1926.

Azpiazu y Gil (R.). —El magnetismo terrestre. 1919.

Inglada (V.). —La corteza terrestre. 1923.

Schuh (F.).—Mediciones magnéticas efectuadas al SO. de Mecklenburgo. Traducción del Sr. García Sñeriz.

Menéndez Ormaza (J.).—Modernos y futuros métodos de investigación del subsuelo. Apéndice a la 2ª. edición de su libro «Como se descubre el agua subterránea».

Sans Huelin.—La balanza de torsión Eötvös-Schweydar y sus aplicaciones. 1924.

Sans Huelin. —Modernas investigaciones gravimétricas. 1925.

Ritter (F.).—Mediciones efectuadas durante explosiones y su aplicabilidad a la explotación minera. «El progreso de la ingeniería» 1925 n.º 9.

En las sesiones celebradas en el Congreso Geológico de Madrid se presentaron los siguientes temas y fueron algunos de ellos objeto de discusión:

Ambrohn (R.).—Systematik der geophysischen. Untersuchungsmethoden.

Barandica (M.) y Miláns del Bosch (J.).—Relaciones entre las anomalías de la gravedad y la constitución geológica de España.

Born (A.).—Carte des resultats obtenus en Hongrie avec la balance de Torsion.

Gavelin (A.).—Geophysical prospecting in Sweden.

Gil (R.).—El camino a seguir para el desenvolvimiento de los combustibles sólidos y líquidos en España.

Haarman (E.).—Die Oszillations theorie, eine Erklärung der Gebirgs bildung.

Kindelan (V.).—Es de gran interés y será útil el estudio e investigación por procedimientos geofísicos de los terrenos miocenos y azufreros del SE. de España por si en ellos existen depósitos de hidrocarburos susceptibles de aprovechamiento industrial.

Kossmat.—Geologische Erläuterungen sur Frage der isostatischen Reduktionsmethoden.

Krahmann (M. B.).—Die geologischlager stättenkundliche Anwendbarkeit des elektromagnetischen erd magnetischen und elektrischen Untersuchungsvortahrens der angewendeten Geophysik.

Monchketoff (D.).—Organisation des exploracions géologiques minières, géophysiques et des fouilles en Russie.

Navarro Neumann (S. S.).—Sur quelques contributions

de la géologie a la sismologie.

Nikiforov (P.).—Sus les principes des Méthodes gravimétriques et sismiques de la prospection géologique.

Nikiforov (P.).—Sur un nouveau type de variomètre de gravité a courte période.

Nikiforov (P.).—Un nouveau type de sismograph portatif pour les observations dans la campagne.

Quirke.—Geophysical studies (a) their Explication to geology (b) on the subjest of the deformation of the cruct of a shrinking sphere.

Reinecke.—Eine Kleine neue photographisels registrien- de Drehwage nach Schweydar.

Salfeld.—Die geologischen Grund lagen fuer die Anwendung geophysikalischer Aufschlusamethoden.

Sans Huelin.—Las anomalías de la gravedad en España y la profundidad de compensación isostática posible.

Sans Huelin, Gil, Barandica, I. Siñeris y Miláns del Bosch. Investigaciones geofísicas en la cuenca potásica de Cataluña.

FIN DEL TOMO I

ÍNDICE

	<u>Páginas.</u>
Prólogo.....	XI
Introducción.....	1

CAPÍTULO I

Orígenes de la potasa

Extensión de la potasa en la naturaleza.....	13
Sales potásicas industriales.....	19
Polvos procedentes de las fábricas de cemento..	20
Polvos de los Altos Hornos.....	22
Substancias orgánicas.....	24
Cenizas de vegetales.....	27
Aguas madres de las salinas.....	31
Diversas menas insolubles de potasa.....	40
Criaderos de sales potásicas solubles.....	52

CAPÍTULO II

Cuenca de Alsacia

Historia.....	65
Situación.....	68
Estratigrafía.....	71

Yacimiento potásico	79
Geología.....	88
Origen de la cuenca potásica.....	92
Cubicación.....	98

CAPÍTULO III

Criaderos de Alemania

Historia	103
Descripción geológica general de la cuenca.....	106
Distritos potásicos alemanes.....	109
Perfil tipo de Stassfurt.....	110
Cuenca de Magdeburgo-Halberstadt.....	111
Cuenca del Harz meridional.....	116
Cuencas del Werra y Fulda.....	119
Cuenca de Hannover.....	123
Cuenca del Norte de Alemania.....	125
El criadero. Sales que lo forman.....	127
Descripción y génesis del criadero	132

CAPÍTULO IV

Cuenca potásica española

Consideraciones generales.....	149
Historia	157
Situación. Extensión. Concesiones mineras.....	163
Bordes de la cuenca oligocena.....	171
Geología de la cuenca potásica.....	177
Accidentes geológicos.....	219
Síntesis geológica de la cuenca.....	228
El yacimiento potásico.....	235
Génesis del yacimiento.....	248
Bibliografía especial de la cuenca potásica española.....	265

Bibliografía de la geología de Cataluña.....	267
--	-----

CAPÍTULO V

Investigación de los yacimientos potásicos

Primeros trabajos geológicos de exploración.....	287
Sondeos.....	307
Ensayos y análisis químicos de menas potásicas... ..	316
Procedimientos geofísicos de investigaciones.....	328
Procedimientos gravimétricos.....	331
Procedimientos magnéticos.....	366
Procedimientos eléctricos.....	389
Procedimientos sísmicos.....	400
Nota bibliográfica.....	409

PLANOS

- Mapa de la cuenca potásica de Alsacia.
- Mapa geológico de las cuencas potásicas alemanas.
- Mapa geológico de la cuenca potásica de Cataluña.
- 5 cortes geológicos de la cuenca potásica de Cataluña.

