

tres automotrices por tren, se sabe que se puede circular con completa seguridad, aun cuando los motores de la automotriz de cabeza estén fuera de circuito.

En los trenes eléctricos del Oeste-Estado, en los de la Compañía de Orleans y en los del Metropolitano no se han producido incidentes por obligar al maquinista á marchar durante un tiempo más ó menos largo con dos ó tres carretones motores solamente, de los cuatro en servicio, sin que se haya comprobado ninguna dificultad mecánica especial de circulación, cualesquiera que sea la posición de los carretones motores que prestan servicio en el tren.

Como era cuestión importante estudiar prácticamente y de un modo sistemático el problema del empuje de los trenes por la cola, con objeto de poner fin á las discusiones teóricas á que daba lugar, la Administración de los ferrocarriles del Estado prusiano procedió, en la línea experimental de Oranienburgo y en la de servicio de Dessau-Bitterfeld, ambas eléctricas, á practicar series de ensayos muy completos, efectuados con trenes remolcados, en condiciones muy variadas de composición y de posición de tractores, con los que se han podido dilucidar completamente los problemas siguientes:

A. *Desgaste de vías.*—Se efectuó una primera serie de ensayos para comprobar si el desgaste de la vía era igual circulando el tractor en cabeza ó en cola. El resultado de los experimentos comparativos, prolongados durante bastante tiempo, con trenes «arrastrados y empujados», de igual velocidad y composición, han demostrado que no existe diferencia apreciable en el desgaste de vía. No se ha producido ningún deterioro accidental en los ensayos practicados en la marcha con el tractor en cola.

B. *Desgaste de las llantas.*—Para determinar si por el hecho de movimientos secundarios se desgastaban más rápidamente las llantas de las ruedas de los coches, cuando el tren era empujado en vez de arrastrado, se hizo circular, siempre en la misma dirección, un tren de 14 coches, intercalada la locomotora en el centro, resultando siete coches constantemente empujados y los otros siete constantemente arrastrados. Después de un recorrido de 20.000 kilómetros, aproximadamente, no se ha comprobado ninguna diferencia de desgaste apreciable en las llantas de los coches de ambas partes del tren.

C. *Consumo de energía.*—Los precedentes ensayos efectuados han demostrado que entre ambos métodos de tracción no existe diferencia alguna apreciable, desde el punto de vista del consumo de energía.

D. *Reacciones capaces de producir un descarrilamiento.*—Desde el punto de vista de los posibles accidentes, podía temerse que una resistencia brusca, opuesta á la marcha del tren y aplicada á la cabeza de éste, provocase un descarrilamiento, por el hecho de la «compresión» y probablemente por el levantamiento de los coches intermedios.

Para dilucidar esta cuestión, se frenó bruscamente en plena marcha dos coches de cabeza de un tren de ocho unidades y empujado por una locomotora, en la que se mantuvo la corriente durante la aplicación de los frenos en la cabeza del tren. No se comprobó perturbación alguna, aunque la velocidad se había elevado progresivamente hasta 55 kilómetros por hora.

Este ensayo se repitió, con igual éxito, en las líneas de circunvalación de Berlín, con un tren de composición normal, circulando con la máquina en cola y con la velocidad prevista en el cuadro de marcha.

Parece, pues, que queda bien demostrado que, por lo menos, dentro de las velocidades usuales en un servicio de los arrabales de una población, el recorrido se efectúa en iguales condiciones, sea cual fuere la posición del tractor ó de los tractores del tren.

Este hecho puede tener una importancia considerable para el estudio de electrificación de ciertas líneas de gran extensión, dentro del distrito de una población, con tráfico mediano, y por cuyo motivo no resultase económica la transformación completa del material existente.

Como además, á partir de un cierto peso de tren, todavía poco elevado, la tracción con locomotora conserva la superioridad sobre la tracción con automotor, desde el triple punto de vista de la potencia, del peso y del precio, sobre todo, cuando la corriente empleada es la monofásica, se comprende el interés que se han tomado los ferrocarriles del Estado prusiano en los ensayos que acaban de relatarse.

H.

Manantiales geodinámicos⁽¹⁾

Algunos fenómenos hidrotermales.

Ciertamente que si en apoyo de mi aserto (2) no pudiera presentar sino las ocurrencias y observaciones canarias, mi trabajo, ya defectuoso por falta de autoridad, quedaría rebajado á una hipótesis sin importancia, contrayéndose á las aguas subterráneas de este archipiélago, y además tendría en mi contra que sobre los técnicos (muy pocos con título y casi ninguno con título suficiente) que aquí realizan trabajos de alumbramientos, la sombra de Paramelle extiende sus protectoras alas y contra toda evidencia sientan como axiomas los aforismos del famoso abate; por ello creo mi deber presentar algunos hechos en distintos puntos del globo que, á mi juicio, cimentan aún mejor mis apreciaciones que cuantos estudios, casi todos ó todos desconocidos para la ciencia, hayan podido aquí efectuarse. Para abreviar entre los numerosos casos que pueden hallarse citaré las aguas del Simplón, las de la región de Teplitz y de Brúx (Bohemia), las hoyas de agua caliente de Utah (Estados Unidos), las fuentes y las aguas de la región volcánica de la Auvernia (Francia) y la erupción del volcán de Tinguaton en Lanzarote.

Túnel del Simplón.—Entre los esfuerzos prodigiosos que ha realizado el hombre para justificar su enfática pretensión de ser rey de la creación, pocos han representado tan colosal empeño como el de perforar el macizo alpino con la doble galería que constituye el túnel del Simplón.

Hízose el proyecto con tal lujo de precauciones, que sólo acusó una diferencia de longitud la obra de unos dos metros en 20 kilómetros sobre los cálculos de la triangulación, reuniéndose el 24 de Febrero de 1905, á las siete de la mañana, los obreros italianos y suizos, después de seis años y medio de trabajos colosales contra todas las fuerzas de la naturaleza.

Se estudió la constitución geológica del terreno presuponiéndose las capas que pudieran cortarse, determinándose incluso las temperaturas máximas, pues como es sabido aumenta el calor bajo la superficie de la tierra proporcionalmente á la profundidad, siendo el grado geotérmico ó profundidad, para la que aumenta un grado la temperatura, cantidad muy variable según la naturaleza de las rocas.

En el túnel el grado geotérmico resultó variable, pues si bien bajo los picos era de 40 á 70 metros, respondiendo á la acción

(1) Del interesante libro publicado por el ilustrado Ingeniero de caminos, canales y puertos D. Juan José Santa Cruz.

(2) Sostiene la teoría de la elevación termodinámica de las aguas subterráneas en las islas Canarias. (N. de la R.)

refrigerante de las cumbres, cuyo resultado es el descenso de las curvas esogeotermas, bajo los valles se redujo hasta 25 ó 20 metros. Esto dió por resultado que los puntos más calientes no fueron los que se hallaban bajo las cumbres, sino los que estaban al Norte de éstas. El calor fué mayor que el calculado, pues se creyó sería de 38°, llegando á 43°, y alcanzó un máximo de 54°, manteniéndose en más de 2 kilómetros superior á 50°. Si crece algo más la temperatura, esta obra colosal no puede terminarse, y, como en las fábulas antiguas, el genio del fuego hubiera impedido el paso del rey de la creación.

En los cuatro primeros kilómetros se hallaron fuentes frías, y algunas con mayor temperatura que la real de la roca, pero con menos de la teórica, pues en el principio había un gran enfriamiento. A los 10 kilómetros de la boca Norte y luego á los 9 de la Sur se hallaron manantiales calientes que llegaron á tener 48 y 49°, y que entorpecieron los trabajos creando dificultades sin cuento.

El notable geólogo M. H. Schardt presentó distintos informes sobre la marcha de los trabajos y los fenómenos geológicos, observados muy especialmente sobre los manantiales que se presentaban, siendo los más importantes el emitido en Febrero de 1912, *Rapport sur les venues d'eau dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle*, y el de 1913, *Rapport supplémentaire sur les venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle*, habiendo el mismo geólogo estudiado la cuestión en el *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, de 1905, y notablemente en *La Géographie*, de 15 de Febrero de 1905.

De estos últimos trabajos extracto algunos detalles, permitiéndome, á pesar de mi insignificancia, disentir del eminente sabio en la explicación de los fenómenos, pero declarado por Stanilas Meunier, en su *Evolución de las teorías geológicas*, en quiebra la *unanimidad de los geólogos*, yo, modesto alicionado á esa ciencia, también me permito abrir, ya que no un templo, una capillita para mi uso particular. Desde la boca NE. (en el valle del Ródano) hasta el punto de encuentro, se hallaron 142 fuentes en 10.376 metros, y por la parte SE., desde la boca situada cerca de Iselle, no se encontraron sino 95, pero éstas fueron más abundantes, y, en relación, más directa con los cursos de agua superficiales.

Los manantiales estaban relacionados con las grietas y, sobre todo, con las fallas, demostrándose que la circulación subterránea depende del estado de agrietamiento ó de dislocación del terreno como ha sentido magistralmente E. A. Martel. La dureza de las aguas, ó sea la cantidad de sales disueltas, no nos interesa siquiera tenga importancia para estudiar el mayor ó menor recorrido por las capas solubles yesosas.

Muchos manantiales dieron al comienzo un gran caudal al mismo tiempo que acusaban una gran presión, ambas propiedades disminuyeron hasta llegar á un régimen constante; la explicación es que todas las grietas estaban llenas de agua, y al abrirse el túnel se vaciaron con la presión debida á su carga y, naturalmente, quedó luego solamente el caudal ordinario. Todos los manantiales del lado Sur los clasifica Schar en tres grupos:

1.º Manantiales *ascendentes* calientes, yesosos y ferruginosos, temperatura más elevada que la de la roca; desde su alumbramiento, la temperatura se ha elevado, el grado hidrotimétrico también, el volumen ha disminuído; fueron hallados en el centro del túnel, es decir, donde era mayor la capa superior de rocas.

2.º Manantiales isoterms, yesosos ó no, mucho menos ferruginosos, temperatura próxima á la de la roca; volumen poco importante, que ha disminuído mucho desde el alumbramiento; y

3.º Manantiales fríos descendentes, yesosos, poco ferruginosos; mucho caudal, próximamente de 15 á 20 veces los otros manantiales; se pueden dividir en dos categorías:

a) Fuentes de temperatura más baja que la roca, variando poco de temperatura y de volumen, pero sí de dureza.

b) Fuentes de temperatura inicial igual á la de la roca. Varían mucho de caudal en el año y se enfrían en el deshielo. Estos fueron los que se hallaron primero, es decir, los más superficiales.

Por medio de ensayos con fluorina se demostró la relación existente entre los manantiales fríos y el torrente de la Caraisca, y de éste con las fuentes de Gebbo.

A veces circulaban reunidas aguas de distintos orígenes, y al construir las galerías transversales se han hecho importantes descubrimientos. Sabido es que por mayor facilidad para los trabajos, se construyeron dos galerías reunidas por otras transversales, y al perforar la núm. 19 se cruzó la falla donde había brotado, en la galería núm. 1, la fuente designada con el número 11 y que caía desde el techo como formidable cascada.

A la apertura de la transversal correspondió el alumbramiento de dos fuentes, una, la 8, más fría que la 11, de 50 litros por segundo y una voluminosa fuente caliente de 70 litros por segundo que se designó con el núm. 9; al mismo tiempo la fuente núm. 11 decrecía hasta reducirse á un caudal escaso.

La fuente núm. 8 caía del techo mientras que la 9 se elevaba desde el fondo.

Al ensanchar la galería 1 lo que restaba de la fuente 11 se dividió en dos nuevos manantiales, 11 a y 11 b.

Las conclusiones de M. Schardt acerca de si pueden ó no las aguas de distinta composición y temperatura circular independientes por las mismas grietas, da lugar á la desconformidad de M. E. A. Martel que siente al resumir el eclecticismo como solución, pero ambos geólogos dan como admitido que entre los manantiales fríos descendentes y los ascendentes de temperatura superior á la de la roca se establece un fenómeno análogo al de un termosifón, si bien Schardt no deja de comprender que no es una circulación completamente cerrada como la del termosifón, pero afirma que es el mismo mecanismo.

A mis escasos conocimientos escapa por completo esta noción de termosifón, en la que el fenómeno persiste después que el agua caliente se separó de la fría. Básiase la teoría del termosifón pura y exclusivamente en la diferencia de densidad existente entre el agua fría y la caliente que hace que ésta se sitúe siempre sobre aquélla, pero esto es lo que pudiéramos llamar un fenómeno de relación, pues no depende de la temperatura absoluta del agua, sino de las diferencias de temperaturas; por lo tanto, mientras el fenómeno se produjera en una grieta donde el agua caliente forzaba su paso á través de la fría nada tendría que objetar, pero al verificarse en conductos distintos, como puso de relieve la transversal 19, no puede hablarse de termosifones, pues el mecanismo de ellos desaparece si el agua caliente desemboca al aire y no en el recipiente del agua fría. Si dijeran que se trataba de grietas con la forma de U y en cuya base había más temperatura, nada hallaría objetable á no ser lo extraño de hallar capas impermeables en esos terrenos, pero desde luego no creo que la teoría del termosifón sea la que debe aplicarse á las aguas del Simplón.

En resumen, lo único que me interesa hacer constar es que se hallaron *manantiales ascendentes* donde mayor capa de rocas existía de temperatura superior á la de la roca y que la teoría del termosifón no puede aplicarse á ellos.

Aguas subterráneas de la región de Teplitz y de Brůx (Bohemia).

Los notables fenómenos de relación observados en Bohemia entre las aguas termominerales de Teplitz y las minas de lignito de aquella región han sido reseñados por De Saunay en los *Annales de Mines*, Agosto de 1899, habiendo el Dr. Franz Suess estudiado con verdadero detenimiento el fenómeno en una Memoria titulada «*Studien über unterirdische Wasser bewegung. Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt*».

En 10 de Febrero de 1879 las minas de Döllinger fueron inundadas por aguas termales á la par que se secaban los manantiales minerales de Teplitz. Se acudió á los geólogos más eminentes é intervinieron en el estudio H. Wolf, C. C. Laube, von Hauer y Ed. Suess, agotándose la mina y cerrándose la grieta por donde penetraba el agua, y á la par que se aseguraba la captación de la fuente mineral á 60 metros de profundidad.

En 1887 se produjo un accidente parecido en la zona Victorina al Oeste del pozo Döllinger.

Para evitar nuevos accidentes se trató de estudiar con gran detalle la circulación hidrotermal, haciendo un sondeo profundo en Teplitz para buscar en las capas interiores el filón original de las aguas. Fué trabajo perdido, pues hasta los 386 metros en que un accidente del sondeo obligó á suspender éste, no se halló agua ninguna, atravesando la sonda hasta 352 metros de profundidad pórfido-cuarcífero con numerosas dicelas kaolinizadas oblicuas al agujero de sonda, después un dique de fonolita de 16 metros y, por último, 10 metros más de pórfido.

Se dedujo que el agua no iba por una red compleja de diaclasas ni por una capa continua, sino por algunas fracturas que sólo por azar podían hallarse.

El 25 de Mayo de 1892 en el mismo pozo Victorine se produjo una nueva inundación.

En vista de ello se acudió á un artificio propuesto por M. G. Bihl y que dió un resultado satisfactorio: consiste en una estación intermedia entre el punto crítico y las aguas termales, algo como un enorme manómetro natural, un pozo hidrostático completamente impermeable en comunicación cerrada con el punto de irrupción Döllinger; tiene este pozo en su base válvulas regulatrices maniobrables á voluntad, y permite observar directamente la carga profunda y anotar sus variaciones en un gráfico; al mismo tiempo se puede modificar ésta casi á voluntad. En principio se asemeja este pozo al de presión hidrostática reciproca de François.

Los trabajos en las minas han demostrado que no se encontraban grietas termales sino capas de expansión lateral ó mejor bolsones en estas capas; en la última catástrofe de 1897, el agua llegó por las grietas silicatadas del calcáreo de Pläner y se vió que no había impregnación de agua en forma continua en aquellas capas, sino depósitos y corrientes separados por terreno seco, lo cual corrobora los últimos resultados de las observaciones espeleológicas, que tienden á afirmar que la circulación de las aguas subterráneas, las que por cierto, según Suess, demuestran que las redes termales son más importantes que las de filtración, se verifica por grietas, bolsones y lechos subterráneos y escasa vez por capas, resultando que análogamente á lo que se ve en la superficie, las grandes extensiones de agua son la excepción.

Arenas acuíferas de Brůx (Bohemia).

En la misma zona se hallan las minas de lignito de Rudiay donde arenas acuíferas entre dos capas impermeables por encima del lignito están en su estado de movilidad y de fluidez tal, que la menor abertura produce su escape casi súbito.

Hay en esta zona una serie de movimientos debidos á las presiones reciprocas entre las aguas profundas encerradas en las arenas acuíferas, las aguas de las minas influenciadas por los agotamientos y las aguas superficiales.

Se ha dudado entre si los movimientos de las arenas se producían tan sólo por la presión de los terrenos superiores cuando el agua que resistía esta carga se desplazaba, ó si realmente eran arrastradas por el impulso del agua. Esta última hipótesis es la que se admite por la gran resistencia á la compresión que tienen las arenas secas y por la facilidad con que se cortan en taludes verticales.

De todas las observaciones realizadas en las minas de lignito de Bohemia, parece desprenderse que las aguas profundas, termales ó no, están influenciadas en sus puntos de afloramiento por las variaciones de presión de las aguas superficiales ó de filtración, y además que la tendencia del agua es, por decirlo así, á canalizarse.

Mr. Kersten explica un accidente parecido al que describí en las minas de lignito de Bohemia, en unas minas de carbón del Levante de Flam (Bélgica), en el que invadieron la mina 30.000 metros cúbicos de agua que él llama fósil y que contenía 56 gramos de cloruro de sodio por litro.

Las hoyas de agua caliente de Utah.

Los volcanes minúsculos conocidos por este nombre en las llanuras arenáceas de Utah, son formaciones de carbonato de calcio que se encuentran en el lado Este de la base de los montes Wasarch y á unos 40 kilómetros al SE. de la ciudad del Lago Salado; hay una veintena de esta especie de cráteres de los que algunos están hoy secos, pero la mayoría son activos y encierran una cantidad considerable de agua caliente alimentada por fuentes subterráneas; estas hoyas tienen forma parecida á la de un cráter, y sus dimensiones son muy variables; desde el tamaño de una barrica mediana hasta las de un montecillo de 25 metros de alto y cubriendo una superficie de cerca de media hectárea.

El cráter está constituido por depósitos sucesivos de carbonato de cal traído por las aguas subterráneas, formando una serie de láminas. Examinando con detención una de estas hoyas, la que surte de agua caliente el Hotel Ritter, se ve que su cráter ofrece una superficie sensiblemente horizontal de 60 metros de diámetro atravesada por un orificio de 6 metros; la fuente ascendente que surte al volcán tiene un gasto suficiente para enviar agua á la piscina del hotel por medio de dos tubos de 7 centímetros de diámetro; el agua está cargada de ácido carbónico y tiene una coloración que varía del negro al verde, según, sin duda, las capas que atraviesa.

Aguas de la región volcánica de Auvernia.

Las aguas subterráneas de estas formaciones volcánicas presentan anomalías, unas oficialmente explicadas y otras aun sin explicación, y es notable que presenten algunas coincidencias con los fenómenos tinerfeños.

En Puys cada corriente de lava forma un suelo permeable que filtra las aguas de lluvia hasta el subsuelo granítico, reapareciendo las aguas en forma de manantiales en el afloramiento de esta capa. Pero estos manantiales presentan la particularidad de que en verano si bien algunos se secan otros aumentan, dándose la anomalía de ser el aumento mayor cuanto más cálido y seco sea el verano.

Mr. A. Baldit lo explica sencillamente diciendo que en las llanuras superiores hay cultivos de regadío, y que regándose más,

cuando más cálido y seco es el verano, á esto se deben las anomalías.

Desconocedor del terreno, no sé hasta qué punto sea válida la explicación, pues si hay esas llanuras que se riegan, también cuando llueve debe verificarse la filtración, pues el riego no es más que el sustitutivo del agua de lluvia, y nunca se regará más de lo que debería llover en un verano seco, en el que probablemente estará más cara el agua, y no acierto por qué se ha de filtrar el agua de riego y no la de lluvia. Además me parece un poco raro que los riegos hagan crecer más las fuentes que las lluvias en su época de abundancia; de modo que la explicación de Baldit, para mi juicio, corre parejas con la que dió Wiebel para las aguas que se elevaban en Samos (Grecia), pretendiendo que el macizo de Ainos era como una colosal esponja (!).

Pero además de esto en Puy de Dôme circulan arroyos bajo las lavas del volcán de Gravenoire, y por último, en las cercanías de Pont Gibaud, análogamente á lo que vió Hamilton en el Etna, se forman cuevas de hielo análogas á las del Pico de Teide, que no provienen de la acumulación de las nieves de invierno, sino en opinión de los geólogos, de la evaporación del agua que empapa las lavas porosas, produciendo un enfriamiento capaz de congelar el agua restante.

Volcán de Tinguaton en Lanzarote.

Como fenómeno curioso producido en este archipiélago, como parte de la relación hecha por el cura de San Bartolomé, D. Sebastián Perdomo, de la fase final del volcán de Tinguaton, cuya erupción duró del 31 de Julio al 25 de Octubre de 1824:

«El volcán se abrió inmediato al lugar de Tinguaton. En las primeras horas de la madrugada del 17 de Octubre presentaba un gran cráter y tres pequeños, y arrojaba mucha arena inflamada y tres brazos de lava: uno, al Naciente; otro, al Poniente, y otro, al Norte; de los cuales sólo el último tenía importancia, habiendo corrido en la noche más de un cuarto de legua sobre la lava del siglo XVIII.

»A las nueve de la mañana disminuyó la columna de fuego; pero se observaba que la caldera que había formado estaba llena de un líquido que subía y bajaba, y que no podía salir á causa de que la parte inferior, por donde se desalojaba la lava, se había tapado con la mucha piedra que caía. A las diez, cesó la columna de fuego y el ruido, y sólo de cuándo en cuándo volvían á presentarse el fuego, el ruido y porción de humo.

»A las once, se formó una tan gran columna de humo, denso, negro y espantoso, que ni siquiera puede darse una idea.

»A las dos ya había disminuido en parte el humo, siguiendo así hasta las cuatro y media, que empezó á salir de aquella caldera, y por la misma parte de la lava, un torrente de agua tan fuerte que destruyó en poco tiempo la gran pared que formó la piedra, y quedó libre su curso, dirigiéndose por el mismo volcán al Norte por este mismo; el agua, de color de lejía, corría tanto que dicho volcán no le servía de obstáculo, y así llegó la noche, dejando á todos con admiración y espanto al ver reemplazado el fuego con el agua. Los días 18, 19 y 20 continuó brotando el agua del centro de la caldera, acompañada de humo, estando llena.

»El día 21, desde los bordes del cráter, se observaba que se había formado una caldera muy pendiente y peinada al anterior; su fondo, muy plano é igual, á excepción de algunos picachos que descubrían de la superficie del agua y arena que cubría el fondo y que al medio de ella y un poco á la parte Norte tenía dos agujeros ó bocas, inmediatas la una á la otra, por las cuales subían dos columnas de agua, que se unían y subían con

tanta violencia como cuando arrojaba la piedra inflamada, en términos que su elevación podía llegar á 40 varas; este agua caía perpendicularmente dentro de la misma caldera y se dirigía á la misma abertura ó portillo que hizo la lava en la pared del Norte, para salir de la caldera con un ruido que no se oía lo que se hablaba.

»Sale el agua con gran porción y rapidez, de suerte que á poderse reunir y conducir por un canal, no la resistiría el hueco de las dimensiones de una pipa. Dicha agua es de color de lejía, y tan caliente como si estuviera hirviendo, y salada como la del mar; se dirige por la lava nueva corriendo en muchos parajes sin dificultad.

»El día 22 continuó el agua con el mismo ímpetu y dirección, y el 23 cesó completamente el agua y el humo disminuyó. Poco después de la una se abrió la montaña por la parte de Poniente y volvió á arrojar agua con el mismo ímpetu y abundancia que antes, y continuó hasta la noche, pero su dirección es la misma.

»El 24 cesó el agua y el humo disminuyó, de suerte que de la montaña ya no sale otra cosa que humo.

»El día 25 sin novedad alguna.»

Aunque mi ánimo sea dejar para los capítulos siguientes las teorías sobre estos fenómenos, no puedo menos en este punto de hacer alguna consideración sobre las opiniones de los geólogos más eminentes; según Mr. Brun, el vapor de agua es accidental en los volcanes y de origen externo y se ha tratado de demostrar que el fenómeno eruptivo es en su esencia ajeno á la acción del agua, y, sin embargo, el volcán del agua en Guatemala en su erupción de 1541, después de lanzar su cumbre al aire no dió más productos que agua, el Cotopaxi en 1877 emitió enormes volúmenes de agua á pesar de no fundir sino una escasa parte de la nieve de su cima, los volcanes de Islandia en 1661 presentaron grandes emisiones líquidas, y en Java son frecuentes las lluvias de barro, sobre todo en la erupción del Galonggoang en 1822.

Lacroix hizo observaciones en el volcán de la Azufretera en la isla de San Vicente en 3 de Marzo de 1903, notando fenómenos parecidos á los descritos por el cura Perdomo, y Verbeck cita proyecciones verticales de barro en el Krakatoa después de su explosión de 27 de Agosto de 1883.

En resumen, el fenómeno de las aguas ascendentes se verifica tanto en los accidentes volcánicos como en el estado termal, estando, sin duda, ligado con la temperatura interna del globo; pero esto no quiere decir que sólo las fuentes que se presentan como termales provengan de aguas ascendentes, pues es lógico suponer que aguas ascendentes que fueron termales pueden alumbrarse á bajas temperaturas y descendentes, como, sin duda, ocurría en el Simplón, donde las aguas termales que ascendían en el centro del túnel, si se alumbraron fué como frías y descendentes al seguir por grietas paralelas á la superficie una vez agotadas sus energías térmicas y dinámicas.

Teorías sobre la termalidad y radioactividad de las aguas.

Señalan hoy día muchos sabios, y entre ellos De Launay, la tendencia de la ciencia al regreso hacia teorías enunciadas en otros siglos y que se desecharon posteriormente como absurdas. Así la química acaso admite ya tímidamente algunas teorías alquimistas y Pitágoras recobra en parte la autoridad en sus doctrinas. Por esto mismo, al citar algunas opiniones sobre la circulación subterránea que da á las aguas calor y según hoy se acredita radioactividad, he de citar la opinión de Woodward en 1695 en su obra *Essay towards a natural history of the earth*, que

sienta que el calor interno tiene por efecto hacer salir del vasto abismo cierta cantidad de agua que, después de haber producido fuentes y manantiales, se evapora en la atmósfera y cayendo como agua alimenta las reservas interiores.

Como quiera que esto es lo que yo intento probar, debo consignar, ante todo, la opinión del geólogo del siglo XVII.

El eminente Ingeniero de minas y geólogo M. De Launay, uno de los que más han coadyuvado al estudio de las fuentes termales, dió en 1903 un resumen de sus estudios, del que me permito extraer algunas partes.

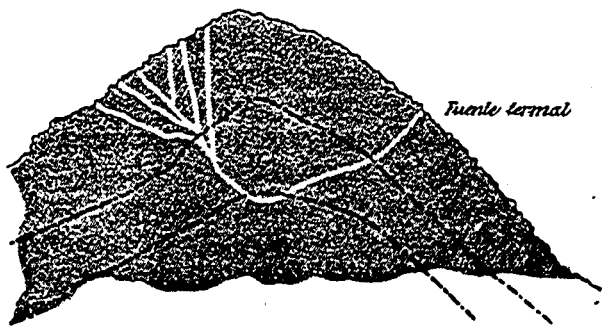
Desde 1885 se ha dedicado De Launay á reunir observaciones sobre la circulación de las aguas subterráneas, y en especial de las termales, buscando principalmente los yacimientos metalíferos con ellas relacionados, demostrando, en unión de M. E. A. Martel, que la circulación rara vez se verifica por capas, siendo la general por diaclasas ó grietas.

En 1889 creó en la Escuela de Minas, de donde es catedrático, una enseñanza totalmente nueva sobre las fuentes termominerales, su geología y los principios racionales de captación que debían resultar. Siguiendo los clásicos trabajos de Daubrée, demostró la relación entre los afloramientos termales y las fallas de origen tectónico, hizo ver el origen marcadamente volcánico del ácido carbónico, y, sobre todo, puso en evidencia cómo se varía el punto de emergencia y se modifica el gasto por ingeniosos métodos que se fundan en la modificación de los equilibrios hidrostáticos por la adición de capas de agua; esta idea, cuyo principio se debe á François, es la que se aplicó en el caso de las minas de lignito en Bohemia.

Otro de los importantes trabajos de De Launay es el del estudio de la distribución geográfica de las fuentes termominerales sobre la superficie del globo, estableciendo leyes generales de las que la principal y más clara es que las fuentes termales están localizadas en las zonas de dislocación más recientes de la corteza terrestre, no existiendo en las regiones de movimientos muy antiguos.

Por último, dió como teoría para aplicar las circulaciones de aguas subterráneas que daba lugar á las aguas termales, la siguiente: penetración lenta del agua superficial por innumerables grietas muy pequeñas; introducción accidental, como en un tubo acodado de esta agua superficial por debajo del nivel hidrostático y brusca elevación del agua recalentada por una fractura más ensanchada.

Esta explicación, aceptada por Lapparent y que acompaño en esquema, no es, según su autor, sino la síntesis de numerosos casos particulares, y las deducciones sacadas de esta hipótesis le



han permitido efectuar trabajos para aumentar el caudal de las aguas minerales, para fijar su emplazamiento y para otros trabajos realizados en los *Balnearios de Bagnols de l'Orne* y *Cestona de Vizcaya*.

Siquiera sea colosal atrevimiento llevar mi pecadora pluma á profanar teoría tan bien sentada y osadía de la ignorancia no aceptar lo consignado por un prestigio como De Launay, corro-

borado en este caso por M. de Lapparent, si bien declaro que encuentro indiscutible lo que afirma el preclaro Ingeniero respecto á la relación entre los manantiales y las grietas y fracturas tectónicas, no encuentro la teoría tan convincente como fuera de desear.

En primer lugar, De Launay y E. A. Martel han llegado á fijar de una manera indudable que la tierra se encuentra agrietada en todas direcciones, y, por lo tanto, resulta extraño que en el codo de que nos habla la teoría no se hallen grietas que sigan permitiendo el paso al interior ¿es lógico admitir, en el Simplón, que debajo de los gneis y los pórfiros existan capas impermeables y no agrietadas que obliguen á la vuelta á la superficie?, además, ¿no se vió en esa misma perforación que el agua fría llegaba por grietas análogas ó mayores que la caliente? Luego en este caso, perfectamente estudiado, la teoría expuesta no acierta á resolver los problemas presentados; es preciso que algo impida el paso al agua y la obligue á resurgir, y ese algo no debe ser una capa impermeable casi imposible de hallar, sino pura y simplemente el calor, como trataré de demostrar en el capítulo siguiente, sin necesitarse tampoco esas diferencias de sección de que habla De Launay.

Claro es que éste, en todos los puntos en que hizo sus observaciones, vió que los dominaban cuencas extensas, altos picos recubiertos de nieves, regiones donde el agua caía en abundancia, pero, ¿hubiera creído lo mismo si hubiera visto nacer en fallas, acusadas ó no por diques, con todos los detalles de su teoría, fuentes importantes que no tenían sobre ellas sino una mísera cuenca de rocas peladas en una isla perdida en la inmensidad del Atlántico?

Si á su razón hubiera resultado absurdo el pensar que de aquellos peñascos, que apenas cubre la nieve y en donde la evaporación activísima es capaz de devorar toda el agua, pudiera proceder la que nacia en fuentes á veces por encima de los 2.000 metros de cota y la que se alumbraba en colosales chorros en las galerías, seguramente que hubiera buscado de dónde podía proceder el agua, y al no ver más origen probable que la azul extensión del Océano, allí hubiera ido á sentar una teoría que hiciera admisible la elevación de las aguas por el solo efecto del calor central.

El eminente geólogo austriaco, Ed. Suess, en la sesión setenta y cuatro de los naturalistas y médicos alemanes, dió una importante comunicación sobre el origen de las aguas termales.

Según él las aguas pueden agruparse en dos clases, las circulatorias, entre las que clasifica las de filtración y que pertenecen á la superficie del suelo, y las que él llamaba juveniles. Estas están en relación con las últimas fases de la evolución del planeta y no emergen sino en condiciones especiales, por ejemplo en las erupciones.

No debe por esto, sin embargo, creerse que todas las fuentes geyserianas son de origen profundo. Las Termas de Carlsbad son, según esta opinión, aguas juveniles, pues brotan en una región granítica que no puede ser su cuenca de filtración. Los elementos alcalinos y de otras clases que arrastran no pueden haberles sido cedidos por las rocas; son residuos de reacciones á grandes profundidades y alta temperatura que trajeron antaño la formación de los depósitos metálicos de que están llenos los barrancos de la región, la sílice se depositó igualmente, mientras que la sal marina, el ácido carbónico y otros cuerpos más solubles quedaron disueltos hasta la fase actual caracterizada por una temperatura mucho menos elevada. El grado de ésta nada nos dice acerca de la profundidad á que se hallan los depósitos que alimentan estas fuentes.

La división que hace Suess pareceme acertada, aun cuando

llame y geodinámicas á las aguas que él llama juveniles por permitirme opinar de diverso modo acerca de su origen y creer que son sólo debidas al dinamismo terrestre que origina el calor.

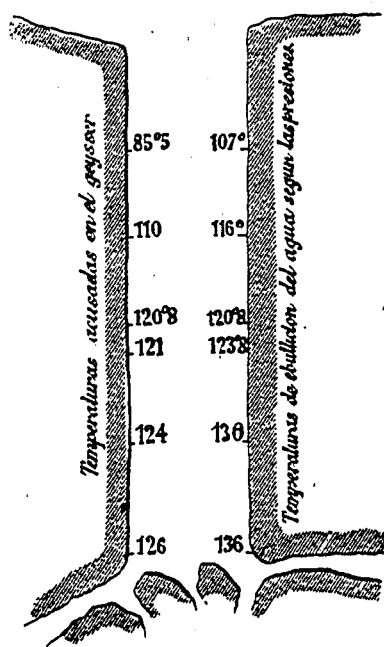
Armand Gautier piensa que las aguas termales, por lo menos, la de mayor temperatura, son una forma atenuada de los fenómenos eruptivos. Su eyección, como la de las lavas, se debe á la ruptura del equilibrio mecánico y químico de las rocas en esa región profunda en que llegan al calor rojo.

De las profundidades ardientes del globo suben constantemente hidrógeno, óxido de carbono, ácido carbónico, azufre, nitrógeno, agua, vapores salinos y metálicos, etc. El vapor de agua es quien más alto y más tarde se licua, y los gases y sales que ha podido conservar en disolución son los que mineralizan las aguas termales.

W. Kilian asegura en la *Gazette des Eaux* de Julio de 1903 que se ha exagerado el papel de las fallas en la producción de las fuentes termales, y, según él, la experiencia ha demostrado que simples diaclasas sin vueltas y aun simples superficies de deslizamiento han bastado en ocasión para asegurar la subida de las aguas.

Teoría del Geyser.—Creo inútil explicar por sobrado conocido lo que constituye esas eyecciones de vapor de agua, gases, agua y aun piedras que caracterizan la fase geyseriana de la actividad volcánica; la teoría primitiva supone á una grieta en forma de N con la rama intermedia casi horizontal, constituyendo un cierre hidráulico en el que la presión de los gases internos y la ebullición del agua acababan por determinar la brusca elevación de ésta.

El fenómeno no se verifica así, según Tyndall, y en la figura se ve el mecanismo de él; en un lado se han notado las temperaturas que acusaba el termómetro en el geyser y enfrente la temperatura á que hierve el agua bajo la presión que en cada



punto representa la carga de agua. En estas condiciones la tensión de los vapores que llegan por el fondo elevan el agua en el tubo dos metros, detalle que se ha observado en la superficie.

En este momento, la capa cuya temperatura es de 121°8 llega al punto en que la de evaporización no es sino de 120°8 y en el acto se produce este fenómeno con la expansión consiguiente, y, por lo tanto, la eyección. La intermitencia se debe á que el agua tarda en adquirir la temperatura del tubo y los vapores en tener presión para la elevación de las aguas.

Para esta teoría es necesario que aparte del calor en el fondo

exista otro foco intermedio en el punto señalado con la temperatura de 120°8 y en el laboratorio se obtiene esta experiencia calentando un tubo en su base y en el centro.

Hasta ahora al referirme á las aguas he tomado las termales por sinónimas de ascendentes y las frías por descendentes, y aunque lo primero sea cierto puede no serlo lo segundo; efectivamente aguas termales ascendentes como las del Simplón al llegar á un punto determinado se mezclarían con las de filtración descendiendo con ellas por las grietas y fallas, continuando el ciclo hasta el depósito común ó hasta el punto en que las condiciones térmicas las obligaran al ascenso, de modo que muchas aguas que clasificamos como frías, y, por lo tanto, de filtración, pueden provenir de un origen interno y ser juveniles, según Suess, de origen netamente volcánico como opina A. Gautier ó estar en las que trato de definir como geodinámicas; existe, sin embargo, una propiedad de algunas aguas (como muchas de Canarias) que pudiera acusar su origen interno; me refiero á la radioactividad.

Cuerpo de extrañas y asombrosas propiedades, ariete acaso que derribe muchas ideas científicas del día, es el radio misterioso agente que sólo en escasas proporciones puede aislarse á costa de improbables trabajos; las rocas volcánicas encierran vestigios de él, y cuantas emanaciones se refieren á la energía interna del globo parecen llevar la huella del poderoso agente; en los últimos años, desde su descubrimiento por los esposos Curie, las investigaciones realizadas tienden á demostrar su presencia en multitud de puntos, justificando fenómenos y anomalías que hasta hoy nos fueron inexplicables; Curie y Laborde, en 9 de Mayo de 1904, en las comunicaciones á la Academia de Ciencias, hacen notar que el Dr. Himstedt, de Fribourg, ha comprobado en algunas aguas y en el petróleo la presencia de un gas que obra como el radio y que es susceptible de emitir radiaciones análogas si no idénticas.

Esta hipótesis tiende á demostrar ó que el radio es muy abundante ó que existen otros cuerpos misteriosos de análogas propiedades.

La fuente de Clitunno, cerca de Spoleto (Ombria), es célebre por la magnífica irisación de las profundidades de donde emerge, irisación atribuida á la interferencia de la luz solar, hecho muy discutible, pues esta agua ejerce, además, una acción química sobre el vidrio incoloro, tñéndolo de un tinte violáceo.

Como esta agua tiene virtudes terapéuticas, se la ha almacenado en un depósito, de donde sale por grifos que la distribuyen á los enfermos, y si los vasos en que se reciben no se cambian, toman un marcado tono violáceo, sin perder el cristal su transparencia. No es, pues, una materia mineral que se deposita sobre el vaso, sino un elemento extraordinariamente tenue que se propaga por los poros, sin turbar su limpieza.

Ahora bien; el radio ejerce una acción análoga sobre el vidrio, lo que demuestra la presencia de él en las aguas de Clitunno.

Según V. Garrigou, todas las aguas minerales contienen radio, y á él se deben muchas propiedades que hasta hoy no se podían explicar en la acción terapéutica de algunas aguas.

Según H. Mache, el agua y los gases de las termas de Gastein encierran una gran cantidad de emanaciones radioactivas, teniendo la misma constante de decrecimiento que el radio. Además, la radioactividad se encuentra en una muestra de fango de hace cuarenta y cinco años; según el autor, el elemento que obra sobre las aguas en las profundidades es el mismo radio.

Además de estos casos, pueden citarse las aguas magnéticas de las fuentes Carterbury Springs Lebanon y Fort-Wayne, en Indiana (Estados Unidos), estudiadas por Leighton, Ingeniero hidrográfico de Chicago; las aguas contienen una fuerte cantidad de

ácido carbónico y dan un residuo muy denso de hierro magnético; basta sumergir durante cinco minutos en estas aguas un trozo de acero para que se imante, y la brújula sobre el líquido da en el acto desviaciones. Cuando se desprende ácido carbónico, pierde el agua sus propiedades magnéticas.

Acusan todos estos indicios que algunas aguas, aparte de la temperatura, tienen propiedades que no son fácilmente explicables si sólo se las supone como corriendo por las capas más superficiales de la corteza terrestre, por lo que pudiéramos llamar la epidermis del planeta. Más hondo, más adentro está el misterioso núcleo central, fuente de energía, sol oscuro cuya importancia hemos tratado de disimular, pero que, indudablemente, ejerce su influencia sobre la vida; la circulación subterránea debe estar determinada por ese núcleo, así como la superficial lo está por el sol, y acaso es más importante el papel del núcleo terrestre, pues si bien su potencia es mucho menor que la del astro rey, su proximidad la multiplica para nosotros.

Suess sostiene que la circulación termal tiene una extensión inmensa, Curie y Laborde, y después Garrigou, acreditan que el radio aparece en las aguas termales, y posteriormente se hallan fuentes, como ocurre en Gran Canaria, cuya enorme radioactividad, ya que no la temperatura, acreditan su origen interno; vemos en el Simplón que las aguas frías y termales, viniendo por conductos distintos, se funden un momento para repartirse de nuevo en las diferentes circulaciones, y al considerar que bajo la acción del sol asciende el agua del mar en forma de vapor, se condensa, cae y rueda hasta el depósito común, y al creer adivinar que el agua en las desconocidas entrañas de la tierra realiza quizás un ciclo análogo bajo el influjo del núcleo central; fundido ó no, ígneo, magnético, ó radio activo, cabe preguntar si no acertarían los viejos filósofos herméticos cuando decían *que lo mismo es lo de encima que lo de abajo*.

JUAN JOSÉ SANTA CRUZ,
Ingeniero de caminos.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

El acueducto de los Angeles.

El 5 de Noviembre de 1913 se ha inaugurado una obra de arte que es una de las más importantes en la actualidad. Es un acueducto de 418 kilómetros de longitud de un caudal diario de 1.200.000 metros cúbicos destinado á abastecer de agua á la ciudad de Los Angeles, en California. Esta capacidad, á razón de 600 litros por persona y por día es suficiente para satisfacer las necesidades de una población de 2 millones de habitantes, tanto en la ciudad como en los suburbios. Se formará idea de la importancia de esta capacidad si se considera que el acueducto de los Ponilles, que constituye una obra notable en ejecución en el momento actual, no tiene más que un caudal de 450.000 metros cúbicos por día y que la longitud de la parte principal es sólo de 236 kilómetros.

El acueducto de que tratamos llega de los manantiales procedentes de la Sierra Nevada á la altitud de 1.160 metros y funciona enteramente por la acción de la gravedad sin auxilio de bombas ni de filtros. Se encuentran durante su longitud total 98 kilómetros de canales descubiertos en la alta montaña, 74 en colinas, 158 en canales cubiertos y 19 en sifones, de los que algunos tienen que soportar presiones de 45 atmósferas, 69 en túneles, etc.

El diámetro de los sifones metálicos varía de 3 á 4,10 metros; en cuanto á los túneles, su sección es bastante grande para dar paso á ferrocarriles.

Para evitar, en caso de accidentes, interrupciones en el servicio, se han dispuesto en el recorrido cuatro pantanos de gran

capacidad. El mayor está constituido por un embalse de 40 kilómetros cuadrados de superficie, y contiene el aprovisionamiento de agua necesario para abastecer á la ciudad durante varios meses.

La terminación de las obras se ha retardado algo por la rotura de un sifón situado en Sand Cañón, á 280 kilómetros al Norte de Los Angeles: estaba formado de tubos de fundición y ha sido reemplazado por cañerías de palastro de acero de 788 metros de desarrollo, de 2,57 á 3,05 metros de diámetro y de 13 á 15 milímetros de espesor. Esta obra ha exigido ciento veintitres días de trabajo, á partir del accidente. En diversos puntos del recorrido de las cañerías forzadas se han dispuesto tomas de agua para fuerza motriz, las cuales podrán suministrar una potencia total de 120.000 caballos.

Esta inmensa obra ha sido hecha por la ciudad de Los Angeles, que cuenta ya medio millón de habitantes y un millón, si se tiene en cuenta la población de los suburbios y se desarrolla con bastante rapidez para que pueda preverse la duplicación de esta cantidad en un porvenir no muy lejano.

El acueducto de Arhokan, que sirve para el abastecimiento de agua á Nueva York, tiene una capacidad superior, 1.900.000 metros cúbicos por día, pero es más corto que el de Los Angeles, y está establecido en terreno de mejores condiciones. Ha costado, por otra parte, mucho más caro.

Tomamos lo que antecede de una nota que publican las *Mémoires et Compte rendu des travaux de la Société des Ingenieurs Civils de France*.

