



ALGUNOS EXPERIMENTOS EN GEYSERES ARTIFICIALES,

por Paul Waitz.

Estudiando la región geysericiana de Ixtlán de los Hervores, al N. del Estado de Michoacán, he hecho algunas veces observación de un fenómeno, sin encontrar por de pronto una explicación satisfactoria. Tampoco he encontrado en la literatura sobre los geysers nada referente á tales fenómenos.

Creendo que estas observaciones, con su explicación física, den luz para los fenómenos geysericianos he construido un geysers artificial, que imita en escala pequeña los fenómenos naturales. De ser correcta mi idea, solamente podrá, desde luego, aplicarse para la región geysericiana de Ixtlán, y es necesario declarar, que no es propio generalizar teorías sacadas de casos en una localidad; porque de varios modos se puede explicar y demostrar el fenómeno de los geysers. Solamente un estudio detallado y observaciones cuidadosas— algunas veces ni éstas,— pueden dar una probabilidad de que tal ó cual teoría sea la correcta.

El camino real de Zamora á Ixtlán sigue, en la cercanía de Ixtlán, al pie de una serie de cerros de roca basáltica, y

está poco elevado sobre el nivel del valle en que corre el río Duero. A unos dos y medio kilómetros antes de llegar á Ixtlán, pasando un puente de piedra, se encuentra, al lado del camino, el primer pozo pequeño de lodo.

Allí es el principio de la faja geysericiana, que siempre al lado izquierdo, al Sur del camino real, de 100 hasta 150 metros de ancho, llega hasta Ixtlán, y también ocupa la parte oriental de la población.

En esta zona larga y angosta, he encontrado unos 600 geysers, hervideros, manantiales calientes y restos de otros ya extinguidos.

En Abril y Junio de 1905 que visité la región, unos 400 estaban en actividad ó presentaban indicios de actividad, conteniendo en sus embudos agua caliente. Unos 200 y muy probablemente más, tenían el aspecto de estar apagados.

Como geysers propiamente dichos, he podido comprobar unos 13; además, se han encontrado unos 50 embudos y conos ó volcancitos de lodo más ó menos activos é intermitentes.

Pozos que hierven permanentemente, he encontrado unos 15.

Pero como se cambian de día en día todos estos números, se puede hacer constar, observando diariamente nuevos desprendimientos de vapor cerca de otros recientemente apagados; nuevos volcanes de lodo y otros recientemente apagados á causa de pisadas de animales ó de una piedra tirada sobre el cono.

Con una ligera inspección se puede observar una agrupación sorprendente.

En el Sureste de la pequeña población de Salitre, existe el núcleo de los pozos en un terreno limitado. En un lugar de 500 metros de largo y 100 hasta 150 metros de ancho, se encuentran 250 hasta 300 pozos activos ó apagados. Al Oriente y al Poniente de este grupo, se encuentran más ó menos alineados los restantes 300 ó 400 pozos.

Además, algunas veces se reúnen en estos tres grupos unos pozos, que no solamente por su cercanía local forman un grupo pequeño, sino también para el observador conociendo parecen estar en conexión interna.

Esta conexión interna manifiesta algunas veces de un modo interesante.

En algunos grupos, en los cuales hay un geyser intermitente, se puede notar en el período de quietud del geyser, que los otros tubos están llenos de agua caliente; pero en el momento en que empieza la erupción del geyser, se vacían los otros, quedando vacíos hasta el fin de la erupción.

Estos grupos se encuentran frecuentemente.

El agua, en algunos pozos, alrededor del geyser, * desaparece cuando él trabaja activamente.

Todos los embudos cerca del pozo 4, se vacían, cuando el pozo tiene su período largo de actividad.

Hace mucho tiempo que la gente de Salitre ha observado lo mismo, respecto del pozo pequeño cerca del gey

*Véase el croquis publicado en el «Livret Guide des excursions du Congrès Géologique International.» México, 1906. «Les Geyseres d'Ixtlán».

ser 7, que surte de agua potable á la población, y respecto del «Pozo Verde» 9, el más grande de todos, que tiene una anualmente una sola erupción al principio de la temporada de las aguas, hirviendo en seguida con mucha fuerza y esplendor, mientras que el pantano, al Poniente, cerca del «Pozo Verde,» se agota.

Un poco más complicado es el juego en el grupo del «geyser tritubular» núm. 8; pero también en este agrupamiento hay varios pozos que se secan cuando trabajan los tres geysers;

La misma observación se hace en la serie de los volcanes de lodo, donde se junta casi siempre un cono con un embudo de lodo, en el cual baja el nivel del agua lodosa, en tanto que empieza la erupción periódica del cono.

Un grupo con los mismos fenómenos, se encuentra más al Este, casi al fin de la línea de geysers.

Además, creo que todos los pozos que hierven permanentemente son geysers con muy largos períodos, lo que fué posible poner en evidencia respecto del pozo 2, junto á la «Casa Salitre, » y también respecto del pozo hirviente núm. 4. Algunos otros pozos, en la cercanía de éstos, y aparentemente apagados, se llenan cuando los hervideros acaban su período de actividad. Esto he observado en el dicho pozo núm. 4.

Tomemos uno de estos grupos, por ejemplo el geysers núm 7, con su pozo subordinado cerca de la población de Salitre, y observemos sus juegos:

Si el geysers ha acabado su período de erupción en este momento, el agua brotada refluye con gargarismo en la boca del geysers, y el pozo subordinado, vacío durante

la erupción del geyser, se llena lentamente con agua de una temperatura de 80°. (Estando la boca del geyser rellena con piedras, no se pudo tomar la temperatura de su agua pero sin duda no está muy abajo el nivel del agua). En los dos tubos empieza á subir el agua y á calentarse.

Después de una hora, el agua aparece también en las piedras del tubo del geyser y el nivel está á la misma altura que en el tubo subordinado; los dos niveles suben igualmente.

La temperatura en el geyser, es de 90 á 91° en el otro pozo, 88 á 89, y sube lentamente en los dos, en el geyser con más aceleración.

Después de otros tres cuartos de hora, suben burbujas más numerosas en el tubo del geyser, y el nivel del agua se mueve algunas veces violentamente.

También en el tubo subordinado aparecen algunas burbujas. El nivel varía un poco, sin bullirse, subiendo y bajando.

La temperatura del geyser es de 92.5; del otro tubo, de 91.5; después se aumenta el número de las burbujas en el tubo del geyser, la ebullición es más fuerte, el nivel en el otro tubo se mueve con rapidez y fuerza, la temperatura sube lentamente con uniformidad, sin interrupción.

Ahora está ya por empezar la erupción del geyser. Originan la actividad algunas burbujas grandes de vapor, sigue un hervor fuerte de agua á 93.5. Las gotas saltan á un metro y medio hasta dos metros de altura, y el embudo abierto del geyser se llena con agua desbordante.

Muy poco tiempo antes que hayan subido las primeras,

burbujas grandes en el geysér, ha bajado el nivel del tubo subordinado á él. En el momento de la erupción, sigue bajando más, y durante la erupción se agota enteramente el tubo angosto del pozo tributario.

La erupción dura más ó menos minutos; después, acabándose la fuerza explosiva del vapor, el agua refluye al embudo del geysér con un sonido parecido al gargareo, y en el tubo subordinado aparece de nuevo el nivel del agua.

Después de dos horas de quietud, en las cuales sube el agua calentándose, empieza de nuevo á trabajar el geysér.

En mi opinión, es acertada la interpretación del fenómeno geysérano, que ya dió MacKenzie en el año de 1811. Su teoría ha sido mejorada por Bischof y Nidd van Kruga.

Lo esencial de la teoría de MacKenzie es: que el tubo del geysér en la profundidad desemboca en una cavidad que sirve de depósito de agua y de caldera. El tubo del geysér es curvo y desemboca de tal modo, que el agua retiene el vapor en la caldera hasta el momento en que la presión es bastante fuerte y puede levantar la columna de agua del tubo.

Alcanzada la tensión necesaria, entra el vapor en el tubo, levantando la columna de agua. El líquido, saliendo de la boca angosta por el embudo abierto, se desborda de éste. Por eso se disminuye la presión del vapor en la caldera que obliga al agua, demasiado caliente para esta presión (menor), á empezar á hervir impetuosamente, y se efectúa entonces la erupción.

Esta teoría de Mackenzie se excluyó cuando en el año de 1846, Bunsen y Descloizeaux estudiaron y dieron la in

terpretación del fenómeno del Gran Geysir de Islandia. Pero la teoría geysieriana de Bunsen es acertada sólo para el Gran Geysir; su generalización sobre todos los geysers, sin duda es errónea.

En los tiempos más modernos han estudiado, principalmente americanos y alemanes, los fenómenos geysierianos, examinando detalladamente las alteraciones que produce una solución de jabón ó una perturbación por piedras tiradas en las bocas de los geysers. Para estos estudios se han construido varios modelos de geysers artificiales de los cuales cada uno es capaz de demostrar algunos fenómenos especiales.

Hay un trabajo acompañado de ilustraciones, sobre los varios tipos de geysers artificiales, por el Prof. Andrae, en el Neues Jahrbuch, 1893, tomo II, pág. 1.

Antes de dar una descripción de mi aparato, que se asemeja algo al modelo 2 del Prof. Andrae, quiero adelantar algunas noticias.

Mi aparato debe demostrar y explicar principalmente el hundimiento del agua en los tubos subordinados, en el momento en que empieza la erupción del geysir. Dicho fenómeno se podría explicar por una fuerza aspirante producida por el vapor en el tubo del geysir. Para que resultara este efecto de aspiración, deberían juntarse los tubos subordinados, viniendo de abajo al tubo del geysir, bajo un ángulo corto, como se ve en el dibujo III.

Pero por lo menos es dudoso que 10 á 20 tubos subordinados, que rodean el tubo del geysir se junten con éste de dicho modo.

Otra explicación, pero que no puede servir para de

mostrar la *simultaneidad* de la erupción y del hundimiento en los tubos respectivos, mencionaré más adelante.

Mi interpretación de este fenómeno, se funda en una ley física bastante conocida, pero todavía en la práctica poco aplicada.

En un tubo comunicante, doblado en forma de una U, que contiene agua, están los niveles en los dos tubos en una línea horizontal. Pero por ejemplo, vertemos primeramente mercurio, y después, en un solo tubo, agua; los niveles naturalmente tienen diferentes alturas, el nivel del agua está más levantado que el del mercurio.

Tal diferencia vemos también cuando ponemos en el fondo agua y encima echamos en un tubo petróleo ó aceite ú otro líquido de peso específico más ligero y que no se mezcle con el agua. En este caso está el nivel del petróleo más que el del agua en el otro tubo.

Cambiaremos el aparato tal modo, que en un tubo entre por abajo un gas por ejemplo, aire; estando el tubo bastante angosto, se aumenta la diferencia de los niveles, porque la diferencia entre los pesos específicos del agua y del aire es más grande.

En este caso observamos relaciones, como se ve en la fig. II.

El nivel del agua en un tubo, está elevado aproximadamente á la suma de la altura de las burbujas sobre el nivel del otro tubo; digo aproximadamente, porque también el gas tiene su peso. Se debería por eso, prescindiendo de la influencia de la fuerza de las superficies de los líquidos, descontar de la suma de la altura de las burbujas el peso

de éstas, calculadas como columna de agua de un diámetro igual al diámetro del tubo.

Este principio físico se emplea hace pocos años, para una bomba de aspiración con mercurio. Este aparato me ha dado la idea mi interpretación de los fenómenos de Ixtlán.

Mi aparato geysariano consiste de un depósito D(fig.I) de agua, en el cual se forma el vapor —este depósito es un matraz ó alambique con dos aberturas— de un tubo A— el tubo del geysar,— al cual envuelve un tubo más ancho, B, para tener caliente el tubo A con vapor. El tubo del geysar tiene en su extremidad superior un embudo muy abierto, H.

Estas tres partes forman el geysar; las dimensiones son las siguientes:

Matraz, de diámetro de 13 centímetros y de una capacidad de 1,200 centímetros cúbicos.

Tubo, de largo de 1.12 m.; diámetro de 12 mm.

Embudo H de ángulo de 140°; diámetro de 1 m.

Este geysar sencillo trabaja con períodos bastante regulares que se siguen cada 6 minutos 30 segundos. Diez observaciones, hechas en la mañana del 27 de Septiembre del año en curso, se han efectuado en 1 hora y 10 minutos.

Las erupciones vienen á producirse cuando se ha formado una cantidad considerable de vapor en el matraz. Este vapor tiene naturalmente debajo de la columna de agua del tubo, una temperatura más alta que la que existiría sin presión. De este vapor suben burbujas grandes por el tubo y levantan el agua en él.

Si estuviera el tubo más largo, soportaría siempre la misma columna de agua sobre el vapor. En este caso se forma permanentemente vapor, que en el tubo lentamente sube, pero nunca puede producir el vapor explosiones intermitentes.

Explosiones periódicas intermitentes produce el geyser, cuando la columna de agua se puede disminuir, y esto es posible, cuando el tubo es bastante corto y el agua puede desbordarse del tubo, sea que desborde, escurra y ya no sirva para el geyser, ó sea que en un embudo abierto se desparrame. En los dos casos se disminuye la presión del vapor en la caldera, y por esta disminución la presión empieza la ebullición del agua en el depósito. Por el exceso de calor se efectúa una ebullición repentina y una explosión, siendo ésta la causa de la erupción del geyser. La ebullición y explosión consumen el exceso del calor del agua y reducen su temperatura al término normal de la ebullición. La fuerza explosiva del vapor se ha gastado; una parte del agua del tubo recae al depósito, y estando un poco más fría, condensa el vapor en la caldera. Por eso se forma un vacío en el depósito que aspira el agua del tubo. La aspiración se aumenta en proporción del agua de menos temperatura, que entra al depósito.

Al efectuarse esta aspiración, refluye el agua del tubo á manera de un golpe con mucha fuerza al depósito, y llena éste enteramente, cuando no arrastró la aspiración algunas burbujas de aire.

Aquí tenemos una verdadera aspiración en el aparato; en los geysers naturales se disminuye esta fuerza á causa de la longitud del tubo y de la temperatura muy elevada

en todo el terreno, en que se encuentra el tubo y el depósito del geysér.

Por eso nunca se observa en Ixtlán una aspiración tan fuerte como en el geysér artificial. Pero vemos también, que esta aspiración se efectúa al fin de la erupción del geysér. Por eso no podremos usar esta observación para la interpretación del fenómeno, porque en los tubos subordinados el agua desaparece simultáneamente al comenzar la erupción del geysér.

Para interpretar este fenómeno necesitamos complicar nuestro aparato.

El principio físico es el mismo que el de dichos tubos comunicantes.

Por la segunda abertura del matraz hacemos entrar un tubo largo, introduciéndolo hasta una profundidad, que quede debajo del espacio que puede llenar el vapor.

El tubo es de tal tamaño, que su abertura superior queda más arriba que la boca del tubo del geysér.

El geysér trabaja ahora del mismo modo que antes.

Alcanzando la temperatura en el depósito el punto de la ebullición bajo la presión de las dos columnas de agua, se forma vapor, que se acumula en la encorvadura del matraz hasta el momento que puede entrar al tubo del geysér. Al principio las burbujas son pequeñas, pero aumentan rápidamente y entonces se puede ver, que el nivel en el tubo subordinado baja por una altura igual á la suma de las alturas de las burbujas.

Cuando disminuye la presión de la columna de agua suficientemente por las burbujas de vapor, empieza la erupción explosiva del geysér. En este momento baja mucho

el agua en el tubo subordinado, subiendo y descendiendo rápidamente en una altura muy debajo del nivel normal, la cual corresponda á la altura de la columna normal, menos la suma de las alturas de las burbujas de vapor que suben en el tubo del geysier.

Este descenso del agua en el tubo subordinado, empieza al mismo tiempo que la erupción del geysier, y debe empezar en este momento, según la mencionada ley física.

También en este aparato se efectúa la aspiración en el tubo del geysier con el golpe, al terminarse la actividad de él. En el tubo subordinado no se observa una aspiración considerable, sino más bien, como efecto del golpe, una repulsión bastante fuerte, por la cual sube el agua sobre el nivel normal. Como he dicho antes, se observan estos últimos fenómenos en el geysier artificial, pero no se notan de la misma fuerza en geysieres naturales.

Además, he agregado á mi aparato un sifón de tubos capilares, con el cual puedo comunicar el aparato con un depósito ancho de agua. Por este sifón renuevo siempre el agua, que el geysier haya perdido en forma de gotas y de vapor durante la erupción, conservando, de consiguiente, las dos columnas siempre al mismo nivel, sin que el agua que entra continuamente, en pequeña cantidad, á causa de la capilaridad del sifón, altere en mucho el trabajo del geysier.

He arreglado el aparato de tal modo, para que durante un tiempo considerable las condiciones sean las mismas. Una adquisición útil sería una fuente regularizadora de calor para producir siempre la misma cantidad de calor.

Comparando las condiciones y relaciones naturales de Ixtlán, con nuestro aparato, se ve lo siguiente:

A una profundidad indeterminable, existen cavidades más ó menos considerables, en las cuales se filtra agua probablemente vadosa, es decir, agua que viene de la superficie de la comarca.

La temperatura de la roca, en que se encuentran estas cavidades, es seguramente bastante elevada y más alta que 93°5, temperatura á la cual hierve el agua en Ixtlán.

Esta temperatura puede tener su origen de macizos de roca eruptiva todavía no enfriada; pero es más probable que calienten todo el terreno profundo, emanaciones calientes de ácidos clorhídrico, sulfúrico y bórico, que suben de la profundidad probablemente por grietas.

La faja angosta y larga en que se encuentran todos los geysers alineados, hace probable la existencia de estas grietas.

Importante es la forma y principalmente la profundidad relativa en que desembocan los varios tubos á las cavidades de los depósitos.

Vemos en la figura IV, una cavidad alargada, en la cual desembocan varios tubos en diferentes profundidades.

El vapor que se forma en el depósito, llena la bóveda de la cavidad. Un tubo delgado D, que desemboca en la parte más alta de esta bóveda, es naturalmente en la superficie una emanación de vapor, que casi siempre trabaja.

El tubo A, que desemboca más abajo, es el geysers intermitente. Los otros dos tubos, B y C, son tubos subordinados, porque desembocan más abajo que el tubo del geysers.

Un hervidero permanente, es el tubo E, porque en él

suben siempre todas las burbujas de vapor, que se forman en el depósito.

Encima de todos los tubos tenemos embudos abiertos. El embudo del geysier hace posible que disminuya la presión sobre el agua en el depósito, cuando se ha llenado la bóveda con vapor y entran las burbujas en el tubo, extendiéndose después el agua en el embudo. Por debajo entran al depósito venas de agua, que siempre llenan de nuevo la cavidad.

Todo el terreno tiene una temperatura elevada, que ya se nota desde las partes superficiales; el agua en los embudos está siempre cerca del punto de ebullición. Además, siendo los tubos largos y angostos, se enfría menos el agua, y por eso es menor la disminución de la temperatura del vapor en la bóveda después de la erupción, á causa de lo cual no puede efectuarse una aspiración tan fuerte, como resulta en nuestro geysier artificial por la condensación de vapor.

La duración de las erupciones en Ixtlán, cambia en los diferentes pozos, pero en todos los geysers no es larga (entre 2 y 10 minutos); eso es un indicio, que las cavidades y depósitos de agua no son muy grandes.

Los períodos de quietud son pruebas que la temperatura del terreno en que están situados los depósitos no es muy alta, y que la provisión de agua en la profundidad no es muy grande. La disminución de los períodos de quietud en los tiempos de lluvias, indica que el agua es de origen por superficial por lo menos en su mayor parte.

Al fin debo acentuar de nuevo, que es imposible dar

la misma interpretación para todos los geysers. Solamente un estudio detallado de las relaciones locales puede resolver la cuestión á qué sistema pertenecen los geysers de una localidad.

Los fenómenos en los tubos subordinados comprueban con mucha probabilidad mi opinión, de que hay en Ixtlán depósitos y calderas en que desembocan los tubos de los geysers, como lo hace constar en su teoría MacKenzie.

Sin embargo, es posible que algunos de los geysers de Ixtlán no pertenezcan á este sistema de geysers.

