

aumenta con mayor rapidez hacia el Sudsudeste, los más cálidos llegan de este último rumbo. Los vientos más fríos de verano son, en Europa, los del Noroeste, procedentes de la región fría del Océano Atlántico del Norte y del mar Glacial. En Noruega, en la Rusia septentrional y en la Siberia occidental, dichos vientos llegan del Norte, es decir, del mar Glacial. En las costas orientales del continente los vientos más fríos soplan del Nordeste y los más cálidos proceden de una dirección diametralmente opuesta.,,

CAPÍTULO V

EL VAPOR DE AGUA EN EL AIRE.—HIGROMETRÍA

I

FORMACIÓN DEL VAPOR DE AGUA ATMOSFÉRICO.—1.ª EVAPORACIÓN; SU MEDIDA

La presencia del vapor de agua en el aire, su mayor ó menor abundancia en estado invisible ó aeriforme, su formación, ora rápida, ora lenta, según las circunstancias, su precipitación en el suelo ó en el seno mismo de las capas atmosféricas, originan toda una serie de fenómenos variadísimos, que van á ser ahora objeto de nuestro estudio.

En razón de su origen común, estos fenómenos han recibido la denominación de *meteoros higrométricos* ó *acuosos*, y también la de *hidrometeoros*, siendo los que más contribuyen á dar á las diferentes regiones de nuestro planeta su fisonomía particular. En cada región establecen una diferencia ya entre las estaciones del año, ó bien en cada estación, entre los meses y entre los días. Su influencia en el desarrollo de los seres organizados, lo mismo en la vegetación que en la vida y crecimiento de los animales, es inmensa. No es posible imaginarse en qué desierto llegaría á convertirse la superficie del globo terráqueo si no hubiera ningún meteoro higrométrico; únicamente los astrónomos pueden formarse una idea de ello asestando su telescopio al disco de la Luna y contemplando la corteza desnuda y llena de escorias de este cadáver de cuerpo celeste, sin aire, sin agua, sin vida. En cambio, ¡qué espectáculo tan variado y tan mudable ofrece nuestra Tierra! La sequía ó la humedad del aire y del suelo se suceden en ella, en un mismo lugar, en las más amplias proporciones, ora acompañadas de un cielo purísimo ó poco menos, ora de una luz velada y sombría; brumas, nieblas, nubes, lluvias, nieves, leves brisas é impetuosos vendavales, chubascos y tormentas, huracanes y tempestades, con todo su séquito de fenómenos eléctricos, producen en nuestra atmósfera esa asombrosa diversidad de aspectos que la convierten en una especie de kaleidoscopio de imágenes de movilidad y ligereza casi infinitas. Prescindamos, sin embargo, de considerar dichos fenómenos de este modo, que si es á propósito para conmover al artista y al poeta, no tiene nada que ver con la ciencia, la cual sólo se ocupa de ellos para esforzarse en averiguar sus razones y sus causas.

Más de una vez hemos tenido ocasión de decir que el aire contiene en todo tiempo mayor ó menor cantidad de vapor de agua. Es fácil comprobar su presencia en él, condensando ó precipitando dicho vapor mediante un descenso de temperatura. Cuando

subimos desde una cueva ó sótano al aire cálido del exterior ó de un aposento con una botella llena de agua helada, vemos que al punto empaña la superficie del cristal una capa de vaho ó de rocío, la cual no tarda en evaporarse á medida que el agua fría se calienta de resultas de su contacto con el aire exterior. Esta misma precipitación tiene efecto naturalmente en el aire, motivada por un enfriamiento suficiente, y este es el origen de las brumas, de las nubes, etc., que indican de este modo la existencia previa del vapor de agua atmosférico.

Hay un medio fácil de comprobar la presencia del agua en estado de vapor en el aire, medio que consiste en exponer á su acción ciertas sustancias llamadas *delicuescentes*; tales son la potasa, la sosa, la sal marina, que se liquidan ó se deshacen con tanta mayor rapidez cuanto más cargado de vapor de agua está el aire. La humedad es causa de que adquieran mayor longitud muchas sustancias orgánicas, como los cabellos, las astas, las fibras vegetales ó animales; otras se encogen, como las cuerdas de intestinos. Pronto veremos que estas propiedades se utilizan precisamente para medir la humedad atmosférica.

La presencia del vapor de agua en el aire tiene una explicación sencilla, atribuyéndola á la evaporación espontánea que tiene lugar de continuo en la superficie del globo. El manantial más abundante de esta evaporación es el mar que, según hemos visto, ocupa nada menos que las tres cuartas partes de la Tierra; lo son también los lagos, los ríos y esa muchedumbre de corrientes que surcan los continentes y las islas. Las partes sólidas contribuyen también bastante á la evaporación, á lo menos dondequiera que las lluvias impregnan de humedad el suelo. Si la tierra está cubierta de vegetación, de prados, de campos labrados, ó de bosques, la evaporación es todavía más activa que en los terrenos desnudos. Las nieves y los hielos emiten también vapores, siquiera en menor cantidad en razón de la baja temperatura relativa de las regiones cubiertas por ellos.

Y en efecto, al estudiar las leyes de la formación de los vapores en el vacío del aire, hemos visto que la evaporación es tanto más activa y por consiguiente el vapor de agua tanto más abundante, cuanto más alta la temperatura del aire y del agua. Por esta razón es más fuerte en verano que en invierno, y en las regiones tropicales más que en las zonas polares. Y es que el fenómeno de la evaporación, el paso del estado líquido al gaseoso, no puede efectuarse sin consumir una cantidad de calor equivalente al trabajo de la disgregación de las moléculas acuosas, calor que forzosamente ha de sacarse del medio ambiente, el cual lo proporciona con tanta mayor facilidad cuanto más elevada es la temperatura.

Si la evaporación consume calor, es obvio que ha de ir seguida de una baja de temperatura. Y en efecto, cualquiera puede cerciorarse de ello. Es sabido que siempre que, por cualquier motivo, se encuentra una persona en estado de transpiración y la superficie de la piel cubierta de sudor se expone al aire, se experimenta una sensación de frío tanto más viva cuanto más intensa es la transpiración. Si el tiempo es seco, por ejemplo, y el aire está poco cargado de vapor de agua, la evaporación será más rápida que si aquel se halla próximo á su estado de saturación. Esta es la razón de que cuando hace un tiempo caluroso y húmedo al mismo tiempo parezca el calor tan intolerable, porque en este caso la evaporación es casi nula. Pero si una corriente de aire renueva constantemente las partes aéreas puestas en contacto con la piel activando la evaporación, se sentirá inmediatamente una sensación de frescura, consecuencia del enfriamiento debido al fenómeno.

Las leyes de la precipitación son evidentemente inversas de las de la evaporación. El vapor de agua atmosférico vuelve á pasar al estado líquido por efecto de un descenso de temperatura; mas, al liquidarse, ocasiona un desprendimiento de calor, que es el mismo que había sido consumido en el acto de la transformación en vapor, resultando así restituído. Más adelante tendremos ocasión de decir cuáles son las consecuencias meteorológicas de las leyes que acabamos de recordar sucintamente.

Se ha procurado medir la actividad de la evaporación, es decir, en volumen ó en peso la cantidad de agua reducida á vapor en un tiempo dado y en una superficie determinada, por ejemplo un metro cuadrado. Los aparatos construídos con este objeto se llaman *evaporómetros*. Digamos en qué consisten y cómo se hace uso de ellos, después de lo cual veremos los resultados que se han comprobado merced á ellos, ó cuáles son las leyes de la evaporación en la superficie de la Tierra.

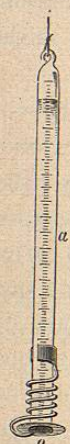


Fig. 78.—
Evaporómetro
Piche.

El evaporómetro Piche (llamado así del nombre de su inventor) consiste en un tubo de vidrio *a* (fig. 78), de escaso diámetro, lleno de agua, cerrado en su extremo inferior con un disco de papel grueso y sin cola, que se puede renovar diariamente. Este disco de papel está mantenido en contacto con el agua por otro disco metálico soldado al extremo de un muelle en espiral. El tubo está graduado de modo que cada división corresponde á una centésima de milímetro de la sección de agua evaporada. El tubo se cuelga al aire libre, en el lugar cuyo poder evaporante está llamado á medir. En el Observatorio de Montsourís se le coloca en el cobertizo de los termómetros que hemos descrito ya, pudiéndose observar de hora en hora las fases del fenómeno, las variaciones que sufre la evaporación de día y de noche, ó las que presenta en el transcurso de un año.

También se usan aparatos de superficie de agua libre. Tal es el evaporómetro Delahaye, que consiste en un depósito rectangular de 50 centímetros de lado (0,25 de superficie), el cual contiene una capa de agua de un decímetro de profundidad. Un tejadillo de medio metro cuadrado cubre el depósito y lo pone á cubierto de la lluvia sin estorbar los movimientos del aire. En el agua descansa un flotador cuya varilla pone en movimiento, cuando baja, la aguja de un cuadrante haciéndola recorrer una división por cada centésima de milímetro de variación del nivel del líquido, es decir, de sección de agua evaporada. Este aparato está colocado en Montsourís en un espacio descubierto, á un metro del suelo, de manera que sea fácil su examen. Junto á él hay un evaporómetro de Piche. Por término medio, los dos instrumentos marcan la misma cantidad de agua evaporada; pero se ha notado que el disco de papel húmedo del primero da mayor evaporación que la capa de agua libre entre las 4 de la mañana é igual hora de la tarde, sucediendo lo contrario de las 4 de la tarde á las 4 de la mañana. Como lo hace observar Marié-Davy, esta diferencia revela la influencia de la temperatura. “El agua en masa tarda más en calentarse y en enfriarse que una simple hoja de papel húmedo: la diferencia cambia sin cesar con las condiciones exteriores y también con la masa de agua del depósito.”

En lugar de medir la evaporación del aire, se puede intentar reconocer la evaporación de la tierra desnuda en virtud de las variaciones que sufre una masa de tierra sobre la cual caen lluvia, nieve y rocío. Del propio modo se puede medir la evaporación de las plantas. El aparato empleado con uno ú otro objeto lleva el nombre de *atmómetro* ó *atmógrafo*. El adoptado en el Observatorio de Montsourís se compone de una báscula cuya tabla está colocada sobre la balanza en lugar de estar lateralmente

y debajo: en la tabla se ponen las vasijas llenas de tierra sola, ó bien de tierra cubierta de plantas en plena vegetación. Del platillo de las pesas parte una varilla que sostiene una probeta con mercurio. Por último, un cilindro fijo penetra en el mercurio. Las variaciones de peso de las vasijas llenas de tierra corresponden á movimientos en la probeta, y el cilindro penetra más ó menos en el mercurio. Estos movimientos se comunican á una aguja móvil cuyo extremo lleva un punzón que inscribe las variaciones de peso; recorre 30 centímetros en un sentido ó en otro, por cada adición ó evaporación de 12 milímetros de agua que experimente la tierra. De este modo se puede apreciar hasta una centésima de milímetro de agua, y los más insignificantes rocíos ejercen su influencia en el aparato.

Pasemos ahora á los resultados obtenidos.

Tomemos porejemplo la evaporación medida en Montsourís, durante el año 1875-76, con el evaporómetro Piche, y que ha dado por resultado, por hora y en centésimas de milímetro, las cifras siguientes, promedios del año:

De 6 h. á 9 h. de la mañana.	24,4	} Total del día..... 198,9
— 9 — 12 —	50,0	
— 12 — 3 de la tarde.	65,0	
— 3 — 6 —	59,5	} Total de la noche, 87,0
— 6 — 9 —	35,4	
— 9 — 12 de la noche.	14,0	
— 12 h. n. á 6 h. de la mañana.	27,6	

Como se ve, la evaporación es más activa desde el mediodía á las 3 de la tarde, es decir, durante las horas más calurosas, y en general las 12 horas del día dan más de los dos tercios de la evaporación total.

También se nota una superioridad marcada de los meses de la estación calurosa sobre los de la fría. La evaporación observada en cada uno de los meses del año, de octubre de 1875 á septiembre de 1876, es la siguiente:

	mm.		mm.
Octubre.	27,0	Abril.	110,0
Noviembre.	42,1	Mayo.	154,0
Diciembre.	11,5	Junio.	109,0
Enero.	7,3	Julio.	145,1
Febrero.	33,6	Agosto.	122,8
Marzo.	68,0	Septiembre.	44,1
Total en la estación fría.	189,5	Total en la estación calurosa.	685,0

Estos números varían mucho de un año á otro. La suma total de las secciones de agua evaporada, que en 1875-1876 fué de 874 milímetros, y que el año anterior había sido solamente de 773, se elevó por el contrario á 1,000 milímetros en 1873-74 y á 899 en 1872-73. Además, hay que tener en cuenta que aquí se trata del poder de evaporación del aire, y no de la evaporación que ha tenido efecto en realidad. En efecto, los evaporómetros dan en todo tiempo el líquido necesario para el fenómeno, y cuanto más seco es el aire, más abundante es la evaporación en ellos. Pues bien, dadas estas condiciones, como la superficie del suelo y de las plantas es á su vez poco húmeda, evapora muy débilmente, de suerte que las cifras dadas por los aparatos no se refieren en realidad más que á la evaporación de las superficies líquidas colocadas en las mismas condiciones, habiendo que aceptar con estas reservas las cifras siguientes que

copiamos del tratado de meteorología de M. Mohn y que dan la evaporación anual en varios puntos del globo:

	Evaporación anual
Cumaná.	3,520 milímetros
Marsella.	2,300 —
Madera.	2,030 —
Sydney.	1,000 —
Azores.	1,200 —
Costas de Inglaterra.	900 —
Escocia oriental.	800 —
El Helder (Holanda).	600 á 800 —
Londres.	650 —

Para París (Montsouris), el *Anuario* da el promedio de 632 milímetros, deducido de diez años de observación; pero no se refiere más que á los siete meses de abril á octubre.

Es muy difícil sacar de estos números un promedio general para la evaporación anual probable en la superficie de la Tierra. Si se conociera este promedio, representaría también á no dudarlo la cantidad de agua que se precipita en forma de lluvia, de rocío, de nieve, etc., pues ambos fenómenos deben compensarse, ya en el decurso de un año, ó ya en un período más ó menos largo de años sucesivos. En la hipótesis de que la cantidad de agua evaporada naturalmente fuese de 1,000 milímetros, multiplicando este número por la superficie del globo, se tendría el volumen total de las aguas que cada año se transforman en vapores por efecto del calor solar, y que á causa del enfriamiento vuelven á pasar en seguida al estado líquido. Esta gigantesca destilación absorbería nada menos que 510,000 millones de metros cúbicos de agua ó un peso de 510,000 millones de toneladas.

II

OBSERVACIONES HIGROMÉTRICAS. — LOS INSTRUMENTOS Y SUS USOS

La *higrometría* es la parte de la meteorología que tiene por objeto la averiguación de las leyes de variación del vapor de agua atmosférico, según las épocas y los lugares. Para conseguirlo, recoge el mayor número posible de observaciones hechas con instrumentos especiales á propósito para medir la cantidad de dicho vapor ó su tensión en el aire: estos aparatos son los *higrómetros*. Antes de describirlos, recordemos los principios en que está basada su construcción.

El aire atmosférico á una temperatura dada puede contener una cantidad muy variable de vapor de agua, desde la sequedad absoluta, en que esta cantidad es nula (circunstancia que casi nunca ocurre en la naturaleza), hasta el punto de *saturación*, en que llega á su máximo. Llámase *estado higrométrico* ó *humedad relativa* del aire á la relación que existe entre el peso del vapor que éste contiene en el momento de la observación y el peso máximo que tendría dicho vapor si el aire estuviera saturado á la misma temperatura. Como la relación de los pesos es siempre casi igual á la de las tensiones del vapor, la definición del estado higrométrico puede enunciarse también de este modo: la relación entre la fuerza elástica del vapor de agua atmosférico en el momento en que se observa y su fuerza elástica máxima á la misma temperatura.

El método más exacto para medir el peso del vapor de agua del aire consiste en hacer pasar un volumen de aire conocido por un tubo lleno de cloruro de calcio ó de piedra pómez empapada de ácido sulfúrico. El tubo, pesado antes y después de la operación, da por diferencia el peso del vapor de agua absorbido. Si el volumen de aire que ha atravesado el tubo es de 125 litros, por ejemplo, y si la diferencia de las pesadas es de 30 centímetros, se deducirá de aquí que el peso del vapor de agua es de 2,4 gramos por metro cúbico de aire.

El aparato que sirve para esta operación y que se llama *higrómetro químico*, está representado en la figura 79. A y B son dos vasijas cilíndricas de capacidad igual puestas en comunicación por un tubo central: pueden oscilar alrededor de un eje común, y gracias á un sistema de conductos practicados en el interior de este eje, el depósito inferior comunica

siempre con la atmósfera, y el superior, por un tubo de goma, con una serie más ó menos numerosa de tubos en U, como M y N. Se llena de agua la vasija inferior, y estando el superior lleno de aire, se hace oscilar el aparato. En seguida el agua de A pasa á B, y el vacío que se hace entonces sobre el líquido atrae el aire exterior por los tubos en U, donde éste deposita su vapor de agua. Terminado dicho paso, se imprime al aparato otra oscilación, y á cada operación, la capacidad de uno de los depósitos facilita la cantidad de aire que pasa.

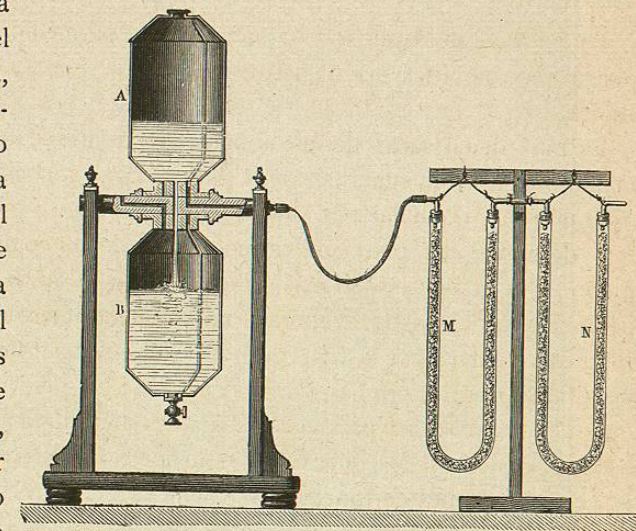


Fig. 79.—Higrómetro químico

Del peso del vapor de agua se puede deducir su fuerza elástica. Dividiendo ésta por la tensión máxima correspondiente á la temperatura del aire, se tendrá el estado higrométrico. Este procedimiento, á causa de su duración, no es de cómoda aplicación en los observatorios meteorológicos; pero de vez en cuando puede servir en ellos para comprobar las indicaciones de los higrómetros de uso constante.

Estos pueden dividirse en tres categorías: los *higrómetros de condensación*, los de *absorción* y los *sicrómetros*.

Conocida la temperatura del aire exterior, su tensión elástica máxima lo es también. Para conocerla basta consultar las tablas de Regnault, ó las curvas trazadas en vista de ellas (fig. 80). Así pues, si se tuviera la tensión del vapor de agua contenido en el aire en el momento de la observación, se tendría el estado higrométrico buscado. Para ello se enfría progresivamente una placa metálica bruñida hasta que se deposite en ella una capa de rocío que empañe su superficie, y se anota la temperatura de la placa, que es aquella á la que quedaría saturado el aire por el vapor de agua que contiene y que por esta razón se llama *punto de rocío*. Las tablas ó las curvas dan la fuerza elástica correspondiente y dividiéndola por la tensión máxima encontrada más arriba, y multiplicando el cociente por 100, se tiene el estado higrométrico ó la humedad relativa.

Tal es el principio de los *higrómetros de condensación* (1).

La figura 82 representa el de Daniell. Es un tubo dos veces acodado llevando dos bolas: una, A, de vidrio de color obscuro, azul ó negro, y llena hasta la mitad de éter, en cuyo líquido está metido el depósito de un termómetro. La otra, B, está vacía, ó sólo contiene vapor de éter; está rodeada de un lienzo muy fino en el cual se echa éter, hasta que el enfriamiento producido por la evaporación dentro de A hace que se forme un depósito de rocío en la superficie exterior de esta última bola. La tempera-

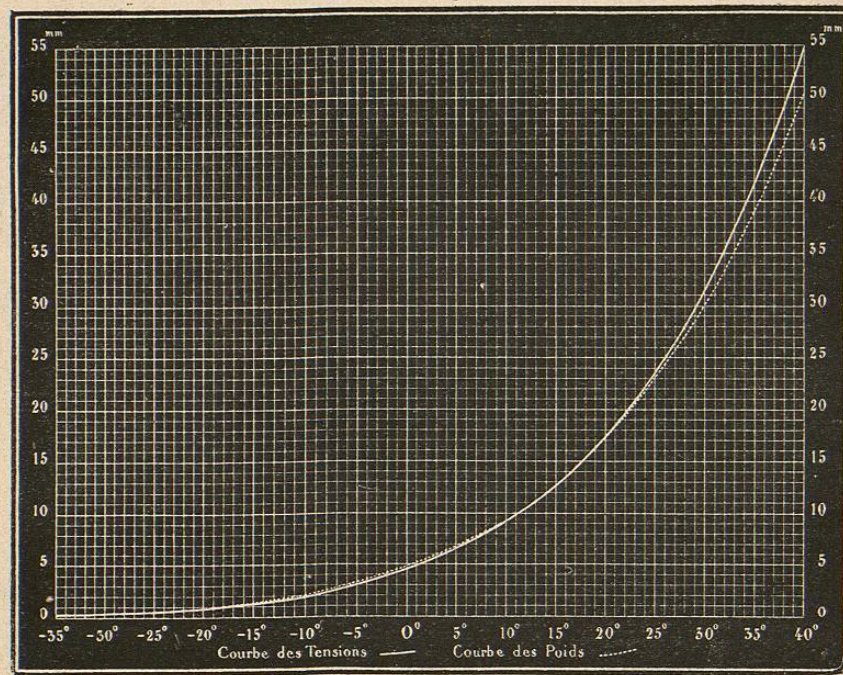


Fig. 80.—Curvas de la tensión y del peso del vapor de agua, según Regnault

tura marcada por el termómetro interior da el punto de rocío; la del termómetro fijo á la columna del aparato, la del aire.

Regnault ha construido un termómetro de condensación que no tiene los defectos del de Daniell (2).

Se compone de un dedal de plata bruñida muy delgado, sobre el cual hay un tubo de vidrio, D, tapado con un tapón. T es un termómetro muy sensible, cuyo depósito

(1) Le Roy, físico francés del siglo pasado, discurrió el higrómetro más antiguo de este género. Una vasija de estaño conteniendo agua y un termómetro metido en el líquido, formaban todo el aparato (fig. 81). Se echaban sucesivamente pedazos de hielo en el agua para enfriarla, y se aprovechaba el momento en que, habiéndose comunicado este enfriamiento á la capa de aire que había sobre la vasija, un depósito de rocío empañaba la superficie brillante del estaño. El termómetro indicaba la temperatura correspondiente. El aparato no era susceptible de gran precisión, y al evaporarse el agua de la vasija, podía alterar el estado higrométrico del aire ambiente.

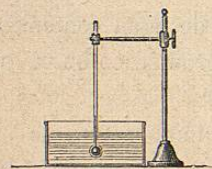


Fig. 81.—Higrómetro de Le Roy

(2) Véase en qué consisten estos defectos: dificultad de regular la marcha del enfriamiento: diferencia entre la verdadera temperatura del punto de rocío que está en la superficie del éter y no en el interior del líquido: influencia de la presencia del operador, y también del agua mezclada siempre con el éter derramado exteriormente, en el estado higrométrico del aire ambiente.

penetra en el éter de que está lleno el dedal. Un tubo, A, que pasa al través del éter hasta el fondo del líquido, permite que el aire exterior penetre en él agitándole, lo cual

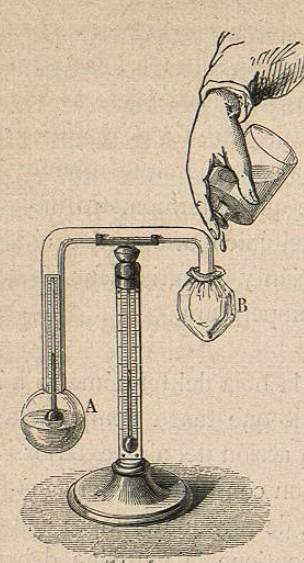


Fig. 82.—Higrómetro de Daniell

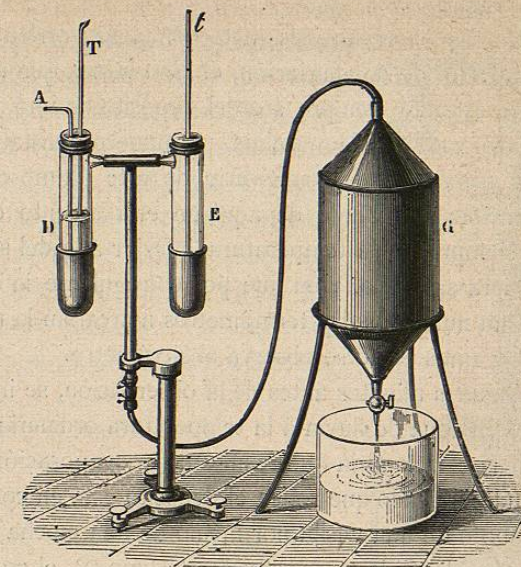


Fig. 83.—Higrómetro de Regnault

produce una evaporación rápida y un enfriamiento del éter. El aire exterior es atraído á consecuencia de la salida del agua de un aspirador G que comunica con el tubo por un conducto de goma. Tan luego como se forma el depósito de rocío, se anota la temperatura del termómetro T. Se interrumpe la aspiración, el enfriamiento, y se anota de nuevo la temperatura en el momento en que ocurre la desaparición del vaho que cubre la plata bruñida. Tómase por punto de rocío el promedio de estas dos temperaturas, que, si la operación se ha hecho bien, no difieren más que en una ó dos décimas de grado.

Hay además otro tubo E provisto de un dedal de plata bruñida semejante al primero, pero sin éter, que, en virtud de la comparación de su superficie con la del dedal enfriado, permite juzgar del momento exacto en que el vaho aparece ó desaparece. A veces se adapta á él un termómetro *t* que da la temperatura del aire, pero es mejor observar esta temperatura exteriormente.

La persona que observa el higrómetro de Regnault se sitúa cerca del aspirador, alejada convenientemente del aparato, y examina las superficies de los dos dedales y lee las indicaciones del termómetro con un antejo.

El ilustrado director del Observatorio del Puy de Dôme, M. Alluard, ha introducido una modificación muy acertada en la forma del higrómetro de condensación. Las dos superficies metálicas y bruñidas, una de las cuales está en contacto con el éter y se enfría, mientras que la otra continúa á la temperatura exterior, son planas: la primera es un rectángulo que va metido en la segunda, pero sin

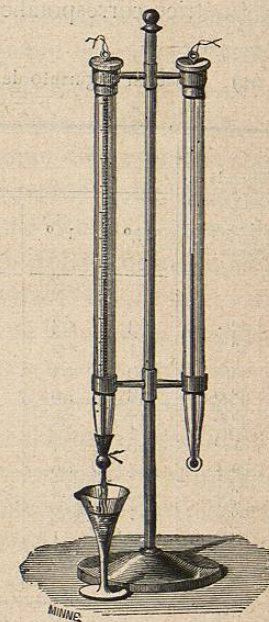


Fig. 84.—Sicrómetro