

246. *Cristalización.*— Cuando un cuerpo pasa lentamente del estado líquido al estado sólido, afecta formas geométricas determinadas que se llaman *cris- tales*. Si un cuerpo fundido, como el azufre, se enfría, se dice que cristalizó por *via seca*; pero si se disuelve cloruro de sodio en agua y después se deja evaporar, entonces se dice que la cristalización fué por *vía húmeda*.

La nieve lentamente formada presenta, observa-

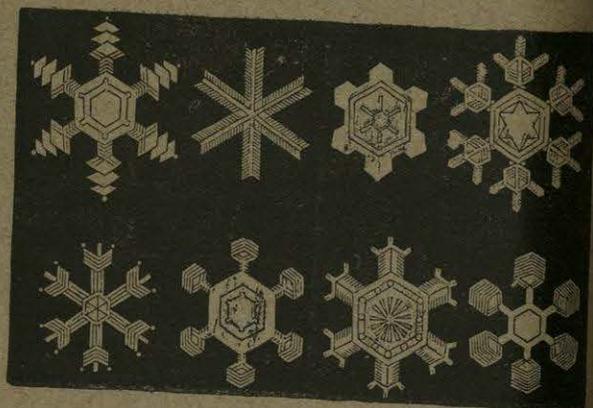


Fig. 266. Cristales de nieve.

al microscopio, muy bellos cristales, en los que domina la forma exagonal.

247. *Sobresaturación.*— Un volumen determinado de líquido disuelve tanta mayor cantidad de una sal, cuanto más elevada es la temperatura del líquido. Es, sin embargo, excepción á esta regla el sulfato de sosa ó *sal de Glauber*, cuyo máximo de solubilidad se presenta á los 33°.

Cuando un líquido á determinada temperatura no puede disolver ya mayor cantidad de una sal, se dice que está *saturado*, y en virtud de lo que dijimos

más arriba, si aumentamos la temperatura, dejará de estar saturado y podrá disolver más sal.

Ahora bien, si dejamos enfriar el líquido volverá á quedar saturado y comenzará la cristalización; pero puede suceder que una solución saturada en caliente no dé lugar, al enfriarse lentamente y en quietud completa, á la formación de cristales. Entonces se dice que el líquido está *sobresaturado*, y este fenómeno es comparable al de la sobrefusión.

Pero si se sacude ligeramente la solución sobresaturada ó si se introduce en ella un cristal de la substancia disuelta, la cristalización se verifica en el acto.

El paso rápido del estado líquido al sólido produce un desarrollo de calor.

EVAPORACIÓN. — EBULLICIÓN

248. Se entiende por *evaporación* el paso lento de un líquido al estado aeriforme, y si este paso es rápido y tumultuoso recibe el nombre de *ebullición*.

Los líquidos *volátiles* son aquellos que poseen la propiedad de pasar al estado aeriforme, y los líquidos *fijos* son aquellos que no dan vapores á ninguna temperatura, como por ejemplo los aceites grasos.

Hay algunos cuerpos sólidos que producen inmediatamente vapores sin pasar por el estado líquido, como el hielo, el arsénico, el alcanfor.

Se dice entonces que estos cuerpos se *subliman*, con lo que se indica que sus vapores se condensan en forma de partículas cristalinas, en la parte superior y fría de los vasos que los contienen.

Las causas que favorecen la ebullición de los

líquidos son: la elevación de temperatura, la disminución de la presión exterior, la sequedad del aire, la agitación de éste y la extensión de la superficie de evaporación.

249. *Leyes de la ebullición.*—El fenómeno de la ebullición está sujeto á las leyes siguientes:

1.<sup>a</sup> *La ebullición empieza siempre á una temperatura determinada que varía de un líquido á otro, pero que es siempre idéntica para una misma substancia que esté en iguales condiciones de presión.*

2.<sup>a</sup> *La temperatura permanece constante mientras dura el fenómeno de la ebullición.*

3.<sup>a</sup> *La fuerza elástica del vapor de agua en ebullición es igual á la presión exterior que se ejerce en su superficie.*

Quando se empieza á calentar agua por su

parte inferior la superficie permanece tranquila y horizontal. Después empiezan á aparecer unas burbujas que son del aire disuelto en el agua. Poco después empiezan á desprenderse de todos los puntos calentados burbujas de vapor, que al encontrar capas superiores más frías se condensan y no llegan á la



Fig. 267. Las burbujas se forman en el seno del líquido y revientan en la superficie.

superficie. A esta formación y condensación sucesiva de las primeras burbujas de vapor que se desprenden es á lo que se debe el ruido que precede á la ebullición.

250. Estudiaremos las causas que pueden hacer variar la temperatura de ebullición de un líquido:

1.<sup>a</sup> *La naturaleza del líquido.*—A la presión atmosférica la temperatura de ebullición varía para cada líquido. Al nivel del mar el agua hierve á la temperatura de 100°; el alcohol hierve á 79°; el éter á 35°6; el mercurio á 360, etc.

2.<sup>a</sup> *La naturaleza del vaso.*—En un vaso metálico la temperatura de ebullición de un líquido es la normal; pero en un vaso de cristal de paredes bien pulimentadas la temperatura de ebullición se eleva, y puede subir en el agua hasta 106°; pero basta arrojar dentro del agua un fragmento de metal para que el líquido adquiera la temperatura normal de ebullición.

3.<sup>a</sup> *Las substancias en disolución.*—Cuando un líquido tiene en disolución una substancia que no es volátil ó que lo es menos que el líquido, se retarda la temperatura de ebullición, y tanto más cuanto más concentrada está la solución. Así el agua saturada de cloruro de sodio hierve á la temperatura de 109°; saturada de nitrato de potasio hierve á 116°, y de cloruro de calcio hierve á 179°. Conviene hacer notar, sin embargo, que según experimentos de Rudber, la temperatura del vapor de agua es siempre de 100°, aun cuando la temperatura de la solución salina sea mayor.

4.<sup>a</sup> *La ausencia de aire ó gas disuelto.*—Una masa de agua desprovista de aire disuelta necesita para hervir una temperatura comprendida entre 125 y

130 grados; y si introducimos dentro del líquido un tubo terminado por un embudo veremos que la ebullición se efectúa solamente debajo del embudo que es donde el agua se ha puesto en contacto con el aire.

5.<sup>a</sup> *La presión exterior.*—Dijimos al tratar de las leyes de la ebullición que la fuerza elástica del vapor de un líquido que hierve tiene que ser igual á la presión que soporta en la superficie del mismo

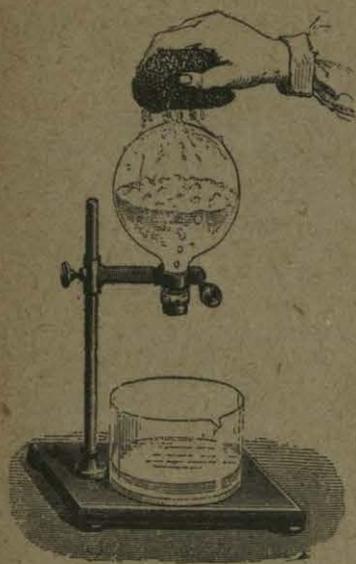


Fig. 268. Experimento de Franklin.

líquido. Se deduce de aquí que mientras menor sea la presión exterior, menor será la temperatura á la que haya necesidad de elevar al líquido para que entre en ebullición. La experiencia lo confirma. El agua al nivel del mar hierve á 100°; al nivel de la ciudad de México (ciudad situada á 2.265 metros sobre el nivel del mar) el agua hierve á 92°8 y en el Monte Blanco (de 4.815 metros de altura) la ebullición se efectúa á los 84°. En el recipiente de la máquina neumática puede hacerse hervir el agua á la temperatura ordinaria.

251. *Experimento de Franklin.*—Franklin ideó un experimento para demostrar la influencia que tiene la disminución de presión en la ebullición de los líquidos.

En un matraz de vidrio se pone agua hasta la

mitad y se calienta con una lámpara de alcohol. Ya que los vapores del agua en ebullición hayan expulsado todo el aire, se retira la lámpara, se tapa muy bien el frasco y se invierte, teniendo cuidado de introducir el cuello del matraz en un vaso con agua para impedir la entrada del aire. Cuando ha cesado el desprendimiento de burbujas se moja el fondo del frasco con una esponja empapada en agua fría é inmediatamente se ve que se desprenden del seno del agua gruesas burbujas de vapor que van á reventar en la superficie. Esta ebullición se debe á que al enfriarse el matraz los vapores se condensan, y tiende á hacerse el vacío.

En cambio, si la presión aumenta se retarda el fenómeno de la ebullición; así, por ejemplo, el agua comprimida á la presión de dos atmósferas no hierve sino á la temperatura de 121°.

252. *Hervidor de Franklin.*—Con este instrumento se demuestra también la influencia de la presión sobre la temperatura de ebullición. Se compone de una esfera de vidrio *a* unida por medio de un tubo *b* alargado. Antes de cerrar esta extremidad se introduce una poca de agua, la cual se hace pasar á la esfera *a*; se pone á hervir con una lámpara de alcohol, y cuando se comprende que los vapores desprendidos han arrastrado todo el aire contenido en el aparato, se cierra á la lámpara la extremidad del

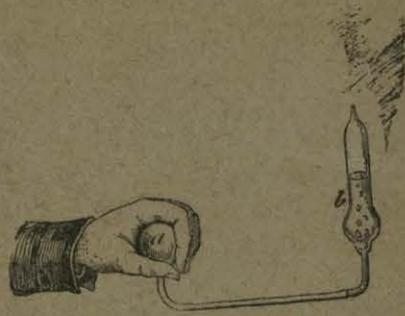


Fig. 269. Hervidor de Franklin.

tubo *b*. Expulsado así todo el aire, el agua no recibe más presión que la tensión de su vapor, la cual es muy débil á la temperatura ordinaria. Resulta de aquí que basta abrazar con la mano la esfera *a* para dar al vapor una tensión que envía el agua al tubo *b*, donde se produce una fuerte ebullición.

253. *Hipsómetro*.—La temperatura á la cual hierve el agua es un dato que nos puede servir para determinar la altura de una montaña. Para la determinación de aquella temperatura se hace uso de termómetros muy sensibles que se llaman *termómetros hipsométricos* y que están divididos en vigésimos de grado. En las tablas de las fuerzas elásticas se ven las tensiones correspondientes á las temperaturas de ebullición en los dos puntos cuya diferencia de altura se quiere determinar, se deducen de aquí las presiones barométricas y se aplican las fórmulas conocidas para medir la altura de las montañas por medio del barómetro. El aparato que se emplea para esa medición y que consiste en una estufa con varios tubos que pueden entrar unos dentro de otros, se conoce con el nombre de *hipsómetro*.

254. *Marmita de Papin*.—Dionisio Papin inventó un aparato compuesto de un vaso cilíndrico de bronce, cerrado por una tapadera del mismo metal que se comprime fuertemente por un tornillo de presión. Se consigue que la cerradura sea hermética interponiendo láminas de plomo entre los bordes de la tapa y de la marmita. En la tapa hay un conducto de bronce donde penetra libremente un perno de acero *u*. Debajo del perno hay en la tapa un agujero cerrado por medio de una válvula cónica. Se consigue que el perno esté constantemente apoyado contra la válvula por medio de un peso *P* que puede

resbalar á lo largo de la palanca de tercer género *A B*. La carga de la válvula se calcula de tal manera que ésta se levante y deje escapar el vapor cuando haya alcanzado en la marmita cierta tensión, de 6 atmósferas por ejemplo. De esta manera se evita la ruptura del aparato, que podría causar serios accidentes y por eso la válvula ha recibido el nombre de *válvula de seguridad*.

Para hacer funcionar la marmita se llena de agua hasta las dos terceras partes, se atornilla la tapadera y se calienta en un horno. El líquido se eleva á una temperatura muy superior á 100°, sin entrar en ebullición. Cuando la tensión del vapor alcanza 5 ó 6 atmósferas, se abre la válvula, sale silbando un chorro de vapor, el agua entra inmediatamente



Fig. 270. Marmita de Papin.

en ebullición y su temperatura baja á 100°.

Como la marmita de Papin se utiliza para aumentar la acción disolvente de los líquidos y la fácil cocción de substancias alimenticias, este aparato recibió el nombre de *digestor*.

TENSIÓN MÁXIMA DE LOS VAPORES

255. Cuando se introduce un líquido en el vacío, se transforma en vapor instantáneamente. He aquí

cómo se dispone el experimento: En una cuba con mercurio se introducen cuatro tubos llenos enteramente del mismo líquido, como si se tratara de hacer el experimento de Torricelli. Es claro que la altura del mercurio en los cuatro tubos será de 760 milímetros si la operación se hace al nivel del mar ó de

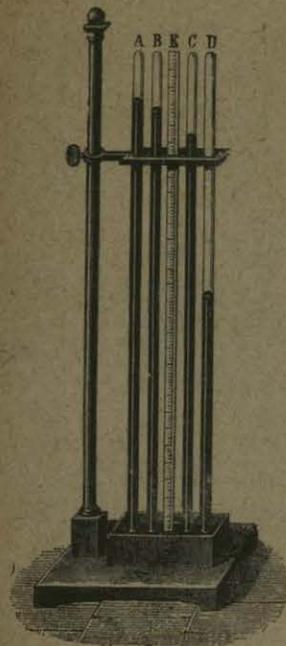


Fig. 271. Formación de vapores en el vacío.

Ha habido para cada líquido una producción *instantánea* de vapores, cuya fuerza elástica ha hecho bajar la columna mercurial.

Estos hechos pueden enunciarse de este modo:

1.º Los líquidos se evaporan instantáneamente en el vacío.

2.º A igualdad de temperatura, los vapores de

586 si se hace en México. Una regla colocada entre los cuatro tubos y dividida en centímetros sirve para medir las alturas de las columnas mercuriales. El tubo A lo dejamos como barómetro de comparación; en el tubo B introducimos una pequeña cantidad de agua en el tubo C la misma cantidad de alcohol, y en el tubo D la misma cantidad de éter, y observamos que el mercurio baja un poco en el tubo B, baja más en el tubo C y mucho más en el tubo D. Lo que hace bajar el mercurio no es el peso del líquido introducido, pues este peso es una pequeña fracción del que alcanza el mercurio desalojado.

líquidos diferentes no poseen la misma tensión.

Así, por ejemplo, á 20º la tensión del vapor de éter es, con corta diferencia, 25 veces mayor que la del vapor de agua.

El calor aumenta la fuerza elástica de un gas ó vapor. Si ponemos agua en un tubo de hierro, lo tapamos y calentamos, poco después vemos que el tapón es proyectado con fuerza hacia afuera.

En cambio, si baja la temperatura disminuye la fuerza elástica del gas ó vapor. En las operaciones de química hay que evitar cuidadosamente un fenómeno llamado de absorción y que podría causar accidentes más ó menos graves. Siempre que se caliente una retorta ó matraz en comunicación con el agua, debe cuidarse de sacar el tubo del agua antes de apagar la lámpara. Los tubos llamados de *seguridad* sirven para impedir la absorción, ó sea la entrada del agua hasta el recipiente por efecto de la presión atmosférica.

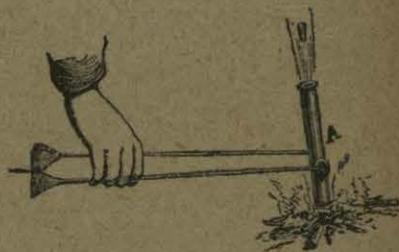


Fig. 272. El tapón salta por la fuerza elástica del vapor.



Fig. 273. Si se enfría el matraz hay absorción.

256. *Vapores saturados*. — Se dice que un espacio está saturado de vapor cuando ya no puede contener mayor cantidad de vapor, sino que parte de éste pasa al estado líquido.

Si en el experimento anterior se introducen nuevas cantidades de éter en el tubo D, se observa que va aumentando la depresión hasta que llega un momento en que el nivel permanece constante y entonces el éter introducido ya no se convierte en vapor, sino que permanece al *estado líquido*, con la condición de que la temperatura no varíe. Así es que para una



Fig. 274. El tubo de vapor saturante.

temperatura determinada hay un límite a la vaporización en un espacio cerrado. Este límite se expresa diciendo que dicho espacio se encuentra *saturado* y que el vapor que lo llena es *saturante* ó *saturado*. Se comprende que se ha llegado á la saturación cuando hay un *exceso líquido* en la atmósfera gaseosa; puede también decirse que el vapor ha alcanzado su *tensión máxima*. Haciendo variar el volumen ocupado por el vapor, la tensión máxima sigue siendo la misma, con tal que la temperatura sea constante y que haya siempre líquido.

La *tensión máxima* aumenta con la temperatura; pero si ésta permanece constante es *independiente de la presión*.

Esto puede demostrarse con el tubo y la probeta profunda que nos sirvió para la Ley de Mariotte. Se introduce en la cuba de mercurio el tubo conteniendo el *vapor saturante*, es decir, con exceso de líquido, y se mide la altura de la columna mercurial desde el nivel del mercurio en la cuba al nivel del mercurio en el tubo. Si introducimos el tubo, parte del vapor pasa al estado líquido, quedando igual la altura de la columna, y si sacamos el tubo, se evapora parte del líquido y tampoco varía la altura de la columna.

Pero si el vapor no está saturado, queda sometido a la Ley de Mariotte.

### LICUACIÓN DE LOS GASES

257. Todavía en el año de 1877 se dividía á los líquidos aeriformes en *gases permanentes* y *gases no permanentes*; siendo los primeros aquellos que no habia sido posible reducir el estado líquido. Los gases permanentes — que habían resistido grandes presiones y enfriamiento considerable — eran los siguientes: oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), bióxido de nitrógeno (NO), óxido de carbono (CO) y gas de los pantanos (CH<sub>4</sub>).

La división de los gases en permanentes y no permanentes, no existe ya. Dos sabios distinguidos, los Sres. Cailletet y Pictet, lograron á fines del año de 1877 licuar los gases que habían estado considerados como permanentes.

El Sr. Cailletet hizo sus notables experimentos en el laboratorio de la Escuela Normal de Paris, el 31 de Diciembre de 1877, delante de Saint-Claire-Deville, Berthelot, Mascart y otros hombres de ciencia, siguiendo este procedimiento:

El gas que se desea convertir en líquido, previamente purificado y bien seco, se introduce en un tubo estrecho de cristal cerrado en su parte superior y que por su parte inferior se encuentra sumergido en una cubeta de acero llena de mercurio. Rodéase á este tubo de un recipiente de cristal que contiene ácido sulfuroso líquido, el cual desempeña la función de refrigerante.

Las enormes presiones á que debe someterse el gas

(300 atmósferas para el oxígeno, 200 para el nitrógeno, 280 para el hidrógeno) se obtienen por medio de una prensa hidráulica de gran potencia y se transmiten directamente al mercurio que, elevándose poco a poco en el tubo, va comprimiendo al gas. Llegado á las presiones indicadas, si se quita súbitamente el gas su presión, el enfriamiento producido por la expansión (enfriamiento que puede muy bien ser de 200 grados) ocasiona en seguida la licuación del gas que aparece en el tubo bajo la forma de niebla ó de gotas muy finas. Estas gotitas, como lo ha demostrado el Sr. Raul Pictet para el oxígeno, pueden, como el ácido carbónico líquido, solidificarse súbitamente, si se las hace salir en seguida del tubo.

Se ve por esto que el 31 de Diciembre de 1877 es una fecha memorable en la historia de la ciencia.

258. Después de estos experimentos, se supieron ya las condiciones necesarias para realizar el cambio de estado de un gas, siendo la principal llegar más abajo de la temperatura crítica ó del punto crítico.



Fig. 275. El Profesor James Dewar.

Recordaremos que se entiende por *punto crítico* la temperatura más arriba de la cual no puede licuarse un gas, por grande que sea la presión.

El punto crítico del aire es de  $-140^{\circ}$ , á una presión de 40 atmósferas; pero para obtener aire líquido á la temperatura ordinaria se necesita una temperatura de  $-191^{\circ}$ .

Para obtener estas temperaturas, los señores Wroblewski y Olszewski, en 1883, recurrieron al frío producido por la evaporación, en el vacío, de líquidos más y más volátiles y lograron obtener cantidades apreciables de oxígeno, nitrógeno y óxido de carbono líquidos. En 1884, el señor James Dewar, de la Sociedad Real de Londres, perfeccionó los aparatos y obtuvo volúmenes muy superiores de gas líquido.

Este *modus operandi* dejaba todavía mucho que desear, no era muy accesible y requería fuertes gastos. Además, podía decirse que hasta aquí sólo se trataba de experimentos de laboratorio. Más de diez años hubieron de transcurrir para que viera el mundo la fabricación industrial del aire líquido y sus múltiples aplicaciones á la química y á la metalurgia. Este resultado considerable se debe á los trabajos de un físico alemán, Linde, de Munich. Ultimamente el Dr. Arzonval instaló en su laboratorio, en el Colegio de Francia, una maquineta de tres caballos de fuerza, encargándose Linde de la instalación.

259. Es notable la disposición del aparato de Linde con el que puede el sabio alemán resolver económicamente y de la manera más sencilla el problema de la licuación del aire; sus predecesores empleaban tres máquinas para producir el frío por evaporación, sirviéndose, para obtenerlo, de líquidos á cual más volátil: ácido carbónico, etileno, oxígeno. La explotación de este sistema complicado, era impropio para los usos industriales, pero M. Linde ha adoptado el principio fecundo del enfriamiento por la dilatación del mismo gas, principio indicado por Cailletet, aunque con ciertos artificios extraordinariamente ingeniosos.

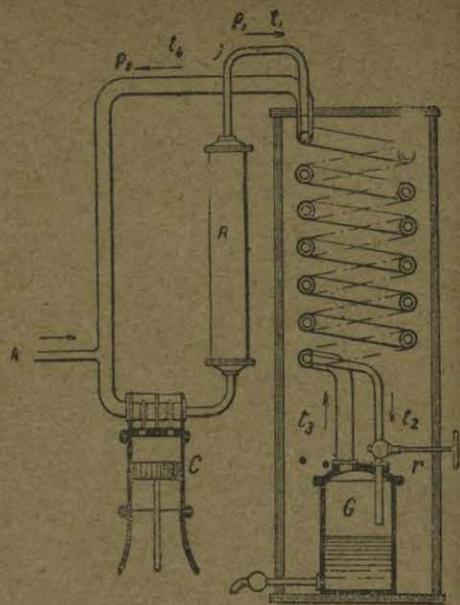


Fig. 276. Aparato Linde para la licuación del aire.

C. Compresor de 220 atmósferas. — R. Refrigerador que pone al aire á la temperatura ambiente. —  $t_1$ ,  $t_2$ , serpentín interior recorrido de arriba abajo por el aire comprimido á 220 atmósferas. —  $r$ , llave para expansión. — G. Receptor en el que el aire pasa de 220 á 20 atmósferas y donde una parte se licua por la expansión. —  $t_3$ ,  $t_4$ , serpentín exterior en el que el aire dilatado pasa de abajo arriba para regresar seguidamente al compresor. — A. Tubo que trae aire nuevo para reemplazar al que se licua.

Proscripción absoluta de refrigeradores auxiliares: el aire se enfría y se licua por sí mismo! Todo el mecanismo se reduce á una bomba que comprime el aire y á un serpentín en el que se dilata de una manera continua, empleando una sola llave. El enfriamiento obtenido con este aparato es independiente de la

energía del motor, y está dado por esta fórmula:

$$t = 0,276 (p^1 - p^2) \left(\frac{273}{T}\right)^2$$

en la cual  $p^1 - p^2$  representa la diferencia de presión en atmósferas, y T la temperatura, á partir del cero absoluto ( $-273^\circ$ ), del gas que se dilata.

260. No siendo gas perfecto el aire, enfriase por dilatación á razón de un cuarto de grado por atmósfera; para enfriarla á  $-200^\circ$ , temperatura necesaria para la licuación, sería preciso comprimirla previamente á 800 atmósferas cuando menos. Este trabajo de compresión sería enorme, y para suplirlo ha empleado M. Linde toda su sagacidad, encontrando medios ingeniosos: 1.º, acumular los efectos de la dilatación continua; 2.º, no permitir que el aire se dilate hasta llegar á la presión atmosférica.

La acumulación de efectos se obtiene por medio de un serpentín formado de dos tubos concéntricos de 15 metros, que entran uno en otro. El tubo interior sirve de conductor al aire comprimido á 200 atmósferas que sale de la bomba; al llegar al extremo se dilata en el segundo tubo á 20 atmósferas y lo recorre en sentido inverso después de sufrir un enfriamiento de  $50^\circ$  por la dilatación. En este segundo trayecto cede el frío producido á la otra corriente de aire que viene con presión de 200 atmósferas, de suerte que al llegar á la extremidad del segundo tubo, vuelve á la bomba el aire dilatado, después de haber cedido todo el frío de la dilatación al nuevo aire que llega.

Los dos tubos están enredados en serpentín, para ocupar un sitio menor, aislándose en una caja de madera llena de lana. De este modo la temperatura

baja progresivamente hasta la licuación completa, y entonces el aire acumulado en estado líquido cae en el recipiente que se adapta á la parte inferior del aparato.

La maquinita del Colegio de Francia, gracias á los principios según los que ha sido construída, gasta apenas tres caballos de fuerza por hora para dar un litro de aire líquido. Hay máquinas mucho más grandes de 50 y 100 caballos que producen de 60 á 100 litros de aire líquido por hora.

261. En los Estados Unidos del Norte, el Profesor Tripler ha construído una máquina en la cual el aire se envía con presión á un serpentín terminado en su parte superior por un tubo vertical en cuya extremidad se verifica la expansión. El serpentín se sumerge en un tubo de vidrio abierto por su base. La expansión del aire baja la temperatura del serpentín á un grado tal que el aire se licua. El Profesor Tripler ha llenado así de aire líquido recipientes de hoja de lata de dobles paredes y de 10 litros de capacidad. La evaporación completa del aire líquido de esos recipientes ha tardado 10 horas. El aire líquido se conserva por largo tiempo en vasos de vidrio de dobles paredes y entre las cuales se ha hecho el vacío de Crookes.

Dulong y Petit habían indicado ya, al hacer sus experimentos de calor, que un cuerpo encerrado en un lugar *vacío* se enfría 25 veces más lentamente que si estuviera en la atmósfera.

El aire líquido es de color azul, su densidad es de 0,910; es sensible al imán; comienza á hervir á  $-190^{\circ}$ , desprendiéndose desde luego el nitrógeno, y como llega un momento en que todo el nitrógeno ha vuelto á su estado primitivo, el Dr. Linde asegura

que puede utilizarse el aire líquido para obtener oxígeno puro, líquido.

El Profesor Dewar ha logrado licuar el hidrógeno, que había resistido aun á los procedimientos empleados por los Sres. Wroblewski y Olszewski. El Profesor Dewar lo ha conseguido dilatando al hidrógeno después de haberlo enfriado á  $-205^{\circ}$  y de haberlo comprimido á 180 atmósferas. La disminución de

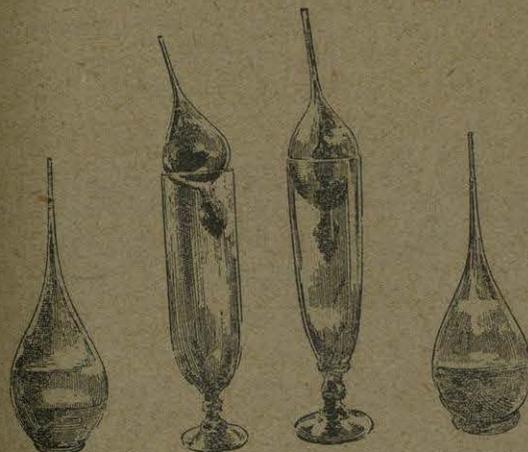


Fig. 277. Frascos Dewar para conservar el aire líquido.

temperatura producida por la expansión ha sido tal, que el hidrógeno ha salido como una cascada y se le ha podido conservar en los frascos de dobles paredes.

En los primeros días de Mayo de 1898 el señor Dewar logró recoger 20 centímetros cúbicos del precioso líquido, y más tarde 50 centímetros cúbicos. Empapando un tapón de algodón en este líquido y acercándole un cerillo arde produciendo una flama muy grande.

El hidrógeno líquido presenta la fluidez del agua

y es incoloro como ésta; no tiene espectro de absorción; su menisco es definido; es muy refringente; no es magnético.

En cuanto á su temperatura, es de tal manera baja, que el aire atmosférico en contacto con el hidrógeno líquido se solidifica instantáneamente. Todavía más: el helium — gas descubierto últimamente y que no había podido ser licuado — se solidifica al contacto del hidrógeno líquido.

Con el hidrógeno líquido los físicos podrán bien pronto obtener temperaturas que se separen apenas 20 ó 30° del *cero absoluto* representado por  $-273^{\circ}$ .

Si el frío corresponde á movimientos moleculares lentos, podemos concebir teóricamente un estado de inmovilidad completa de las moléculas, y basándonos en la ley de Gay Lussac sobre la dilatación de los gases y la ley de Mariotte sobre la elasticidad de los mismos, podemos calcular que el frío absoluto es de  $273^{\circ}$  abajo de cero.

Esta es la cifra que admite la ciencia, aunque es de presumir que en realidad es aún más baja la temperatura que corresponde al *cero absoluto*, á la inmovilidad molecular completa.

Ahora bien, á estas bajísimas temperaturas, ¿cuáles serán las propiedades de la materia?

Pronto hemos de poder resolver esta cuestión, dado el avance portentoso de la Ciencia.

*Tabla de las temperaturas críticas y presiones críticas de algunos gases:*

Gases	T. críticas	P. críticas
Azoe.....	$-146^{\circ}$	35 atmósferas
Oxígeno.....	$-113^{\circ}$	50 »
Ácido carbónico.....	$+31^{\circ}$	77 »
Ácido sulfuroso.....	$+156^{\circ}$	79 »

262. *Licuación ó condensación de los vapores. Alambique.*—El paso de un cuerpo del estado gaseoso al líquido se conoce con el nombre de licuación ó condensación. Las causas que pueden producir la condensación son: el enfriamiento, la compresión y la afinidad química.

El medio que se emplea para purificar el agua ó

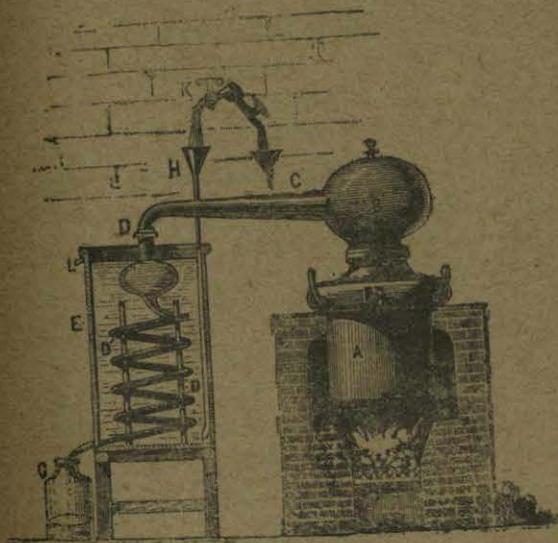


Fig. 278. Alambique.

destilarla es hacerla entrar en ebullición y condensar después los vapores por el enfriamiento.

El aparato empleado para esta operación es el alambique. Se compone de un vaso ó *cucúrbita* de cobre A, con su tapadera F, que lleva en la parte superior una pieza B en forma de bóveda, llamada el *capitel*; de aquí sale un tubo de desprendimiento C que va á dar á un *serpentin* D'D encerrado en un vaso llamado *refrigerante*, por el cual circula cons-

tantemente una corriente de agua fría. El agua entra en ebullición en la cucúrbita, los vapores pasan por el capitel y por el tubo de desprendimiento, sin arrastrar las materias sólidas que contienen en disolución ó en suspensión y al llegar al serpentín se condensan. El agua que resulta es recibida en un frasco de cristal.

Como todo vapor al condensarse restituye el calor que había absorbido y hecho latente en el momento de la evaporación, el agua del refrigerante se irá calentando y llegaría un momento en que en lugar de salir agua por el extremo del serpentín, saldría un chorro de vapor. Para evitar esto se hace llegar una corriente de agua fría por un embudo H, cuyo tubo llega hasta el fondo del refrigerante, y el agua menos fría sale por el tubito L.

263. *Destilación fraccionada.*—Con frecuencia se tiene necesidad en la industria de separar una mezcla de líquidos desigualmente volátiles; se emplea entonces el método de *destilación fraccionada*. Supongamos una mezcla de agua y alcohol, y recordemos que el agua hierve á 100° y el alcohol á 79. Calentando progresivamente la mezcla, resulta que el alcohol—que es más volátil—comienza á hervir primero que el agua.

Durante este fenómeno la temperatura permanece casi constante y los vapores de alcohol son los únicos que destilan. Volviendo á repetir la operación varias veces se llega á obtener alcohol perfectamente puro. En la industria se emplea este procedimiento para *rectificar* el alcohol, es decir, para separarlo del agua con que está mezclado.

ESTADO ESFEROIDAL

264. Desde el siglo XVIII el físico Leidenfrost observó que cuando se vierte un líquido sobre una lámina metálica incandescente, el líquido ni se extiende sobre la placa ni la moja, sino que afecta la forma de un globo aplanado. Boutigny se dedicó especialmente al estudio de este fenómeno y dió el nombre de *estado esferoidal* á este estado peculiar de los líquidos que se hallan sobre láminas incandescentes.

Si con una pipeta se deja caer una corta cantidad de agua sobre una cápsula gruesa de plata ó de cobre calentada al rojo, se observa que el agua, después de afectar la forma globular, ó permanece tranquila ó adquiere un rápido movimiento de rotación—lo que depende de la temperatura—y no sólo no entra en ebullición, sino que la evaporación es *cinco* veces más lenta que si hubiera ebullición. Si se deja enfriar la cápsula llega un momento en que termina el estado esferoidal, entonces el líquido moja á la cápsula y hay ó una rápida evaporación ó una extinción tranquila de la gota.

Todos los líquidos pueden adquirir el estado esferoidal y lo conservan con tanta mayor facilidad cuanto más volátiles son y mejor pulimentada está la placa.

265. *No hay contacto.*—Se han ideado varios é ingeniosos experimentos para comprobar que no hay contacto entre la gota y la lámina incandescente. Mencionaremos algunos.

*Experimento núm. 46.*—En una lámina de plata perfectamente nivelada y calentada al rojo, se deja