Número 7.

Pequeña Enciclopedia Práctica

DE

QUÍMICA INDUSTRIAL

PUBLICADA

bajo la dirección de **F. BILLON**, Ingeniero químico.

EL AGUA

TRADUCIDO DEL FRANCÉS Y ADICIONADO CON NOTAS

POR EL DOCTOR

D. JOAQUÍN OLMEDILLA Y PUIG

Académico, Consejero de Sanidad del Reino, Catedrático, Autor de multitud de publicaciones, etc.

Ilustrado con grabados.

MADRID

LIBRERÍA EDITORIAL

DE BAILLY-BAILLIERE É HIJOS

Plaza de Santa Ana, núm. 10.

78

5086

C.66-405

EL AGUA

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

PRINCIPALES CORRESPONSALES

ALAVA.—*Vitoria*: López Munain, P. L. Larrañaga.
ALBACETE.—Vicente Vilar, S. Ruiz. *Hellín*: M. Furió. *Villarrobledo*: T. Pérez.
ALICANTE.—Vicente Tonda, F. Alemañy. *Alcoy*: José Perez Botella, C. Vilaplana y comp.ª, J. Llorens Pericás. *Elche:* F. Ferrández.
ALMERÍA.—G. Gajate.
AVILA.—Lucas Martín.
BADAJOZ.—González, Claramont y compañía.
BALEARES. — *Palma:* Juan A. López. *Mahón*: M. Busutil. *Manacor*: B. Frau
BARCELONA. — A. J. Bastinos, Jacinto Güell, Juan Llordachs, E. Piaget. *Mataró:* Mateo Noguer. *Sabadell*: Miguel Berenguer. *Tarrasa:* Gorina. *Vich*: M. Garriga Mestanza. *Villanueva y Geltrú*: A. Madrona.
BURGOS.—C. Avila é hijo, Hijos de S. Rodríguez.
CÁCERES.—J. del Pozo y Mateos.
CÁDIZ.—Ibáñez y Prado, Manuel Morillas. *Jerez de la Frontera*: José Bueno. *Línea de la Concepción*: Juan delos Santos. *Puerto de Santa María*: J. L. García, M. Carrillo. *San Fernando*: José Gay. *Veger*: Francisco Aragón.
CANARIAS.—*Las Palmas* Delgado Martín Velasco. *Orotava* J. Herreros. *Santa Cruz de la Palma*: T. Torres Luján. *Santa Cruz de Tenerife*: Delgado Yúmar.
CASTELLÓN.—J. Rovira Borrás. *Vinaroz*: Juan Botella.
CIUDAD REAL.—Ramón C. Rubisco.
CÓRDOBA.—Viuda de Gacto, Lovera, F. A. de Muela.
CORUÑA.—E. Carré, Escudero, Viuda de Ferrer é hijos. *Ferrol*: Viuda é hijos de Obertín, Eduardo Varela. *Santiago*: J. Escribano, Gali Camps.
CUENCA.—Viuda de Gómez é hijo.
GERONA.—Paciano Torres.
GRANADA.—L. Guevara, Paulino Ventura Sabatel (Viuda é hijos de), Dámaso Santaló.
GUADALAJARA.—Antero Concha.
GUIPÚZCOA.—*San Sebastián*: J. Baroja é hijo, V. Benquet, *Librería Central*, Viuda de Ósés.
HUELVA.—Viuda ó hijos de Muñoz.
HUESCA.—F. Iglesias Lacostena, Leandro Pérez.
JAEN.—C. Uribes. *Andújar*: A. Barrios. *Linares*: Eloy Montes.
LEÓN. — M. Garzo Herederos de Miñón.
LÉRIDA.—J. Amorós, E. Ribelles.
LOGROÑO.—Hijos de Alesón, Cipriano García, C. Gil, Venancio de Pablo (Viuda de).
LUGO.—Juan Antonio Menéndez.
MADRID.—*Alcalá:* J. Lobo.
MÁLAGA.—J. Duarte, J. González Pérez
MURCIA.—Viuda de J. Perelló. *Cartagena:* W. y L. García hermanos.
NAVARRA. — *Pamplona*: Beseansa R., Roldán Pérez y C.ª, Aramburu, Viuda de Carrió.
ORENSE.—Nemesio Pérez, V. Miranda.
OVIEDO.—Juan Martinez. *Avilés*: F. Fernández. *Gijón*: H. Andrade, L. Menóndez.
PALENCIA.—A. Z. Menéndez, Rincón.
PONTEVEDRA.—A. García. Joaquin Pozo Cobos. *Tuy*: Lorenzo Pérez Hermida (Viuda é hijos de). *Vigo*: E. Domínguez, E. Krapf, J. Nieto.
SALAMANCA.—Viuda de Calo. é hijo, M. Hernández, Hidalgo, V. Oliva.
SANTANDER.—G. Carriles, L. Gutiérrez.
SEGOVIA.—M. Mecina.
SEVILLA.—Fé (J. A.), Sanz, E. Torres.
SORÍA.—P. N. Sebastián.
TARRAGONA. — J. Font, S. Ginesta Salas. *Reus:* Agustin Torroja. *Tortosa*: F. Mestre, Bernis.
TERUEL.—P. Punter Navarro.
TOLEDO.—Menor hermanos, J. Peláez (Viuda é hijos de).
VALENCIA. — Pascual Aguilar (en testamentaría), Ramón Ortega, Pubul y Morales.
VALLADOLID. — A. Martín Sánchez, L. Miñón, J. Montero, Hijos de Nuevo.
VIZCAYA. — *Bilbao*: Bulfy y comp.ª, Dochao, A. Apellaniz, E. Villar.
ZAMORA.—Viuda de M. Rico, P. Sendín.
ZARAGOZA.—A. Allué, Crespo y Alconchel, Gasca, Sanz.

Isla de Cuba.

HABANA.—Santiago López, José Lopez M. Ricoy.

(La lista de corresponsales termina en el tomo octavo.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

PEQUEÑA ENCICLOPEDIA DE QUÍMICA INDUSTRIAL PRÁCTICA

PUBLICADA BAJO LA DIRECCIÓN DE **F. BILLON**

Ingeniero químico.

N.º 7

EL AGUA

BIBLIOTECA

TRADUCIDA DEL FRANCÉS Y ADICIONADA CON NOTAS

POR EL DOCTOR

D. JOAQUÍN OLMEDILLA Y PUIG

Académico, Consejero de Sanidad del Reino, Catedrático, Autor de multitud de publicaciones, etc.

BIBLIOTECA

ILUSTRADO CON GRABADOS

BIBLIOTECA PUBLICA MAHON

SEGUNDA TIRADA

MADRID
LIBRERÍA EDITORIAL
DE BAILLY-BAILLIERE E HIJOS
Plaza de Santa Ana, núm. 10.
1900

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ADVERTENCIA DEL TRADUCTOR

El título del presente volumen es por sí solo motivo bastante para revelar la importancia de primer orden y el interés universal que encierran unas páginas cuya lectura ha de ser igualmente provechosa y fructífera á todas las clases sociales y á todas las profesiones y actividades de la humana inteligencia.

Ya el filósofo griego Tales de Mileto, fundador de la Escuela jónica, dijo 640 años antes de la Era Cristiana que el agua es el principio de todas las cosas, y que las plantas y los animales no eran más que agua condensada bajo múltiples formas, y en agua se convierten en último término; con cuyas frases no hizo más que adelantarse á su tiempo y presentir verdades que la ciencia ha sancionado en gran parte, y que demuestran asimismo la importancia que desde remota época concedieron al agua los grandes pensadores.

En todas épocas se ha dado, en efecto, á este cuerpo la importancia que merece, y por tanto, ha sido asunto del estudio constante del hombre de ciencia en diversos conceptos. En este libro se expone la química del agua, con la suficiente extensión para dar á conocer, dentro de los reducidos límites de un compendio, todo cuanto al particular atañe, en la seguridad de que ha de hallar el lector las principales cuestiones que interesa conocer, con arreglo á los principios de la ciencia moderna, que se reflejan fidelísimamente en todas sus páginas.

Se tratan las cuestiones más interesantes relativas al agua, empezando por la historia de su composición, siguiendo luego con la parte geológica, los caracteres de las aguas potables, el análi-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

sis de las mismas, hidrotimetría, su depuración, filtración y fabricación artificial del hielo, todo ello de una importancia sin igual, considerado desde muchos puntos de vista. Los buenos grabados que acompañan ilustran muchas de las cuestiones expuestas.

Resulta una monografía interesante, pues contiene, aun dentro del estrecho cuadro en que por su índole especial tiene que encerrarse, todo lo más necesario en la práctica industrial, relacionado como es consiguiente por el carácter del asunto con la higiene. He procurado añadir algunas ideas consignadas en varias notas cuando la oportunidad lo reclama, creyendo con esto completar lo expuesto por el autor, sobre todo en datos referentes á España.

Por todo lo cual puede desde luego apreciarse el gran interés que inspira este tomo, comprensivo por igual á todas las clases y profesiones, pues el tratar del agua equivale á ocuparse de la sustancia que tiene la primera y más trascendente misión vital.

De esperar es, por tanto, que el público reciba el libro con el beneplácito que merece y que ha tenido en Francia apenas ha salido de las prensas.

J. Olmedilla y Puig.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

EL AGUA

CAPÍTULO PRIMERO

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

El presente tomo tiene por objeto el estudio del agua. Si el carbón y la sal marina pueden considerarse como las bases de la industria química, el agua desempeña en ella un papel más importante y existen muy pocas operaciones industriales que puedan eximirse de su intervención.

Pero éste no es todavía sino el menor de los conceptos en que puede considerarse la compleja cuestión de las aplicaciones de este *elemento*. Cubriendo la mayoría de nuestro globo, habiendo dado origen, dejándolas depositar en su seno, á las capas sedimentarias cuya sucesión forma una gran parte de la corteza terrestre, el agua entra en la composición de todos los cuerpos organizados, animales y vegetales, y constituye con frecuencia la mayor parte de su masa.

Es también indispensable para su vida, como para su constitución inicial, y forma asimismo la base de todos los alimentos del animal y de la planta. Unida también íntimamente á la existencia y composición de nuestro globo, ejerce en su superficie, bajo las tres formas, sólida, líquida y gaseosa, acciones múltiples y poderosas, que modifican su aspecto incesantemente, como lo han modificado en las épocas geológicas, y contribuyen en gran parte á mantener las condiciones de existencia de los seres en sus límites normales. Hay también que consignar que el número de animales de existencia acuática excede al de los animales terrestres. Entre las grandes ramas en que se agrupan todos los seres, la de los vertebrados y de los artrópodos están muy bien representados en los continentes; pero el primero abarca, por el contrario, como acuáticas á innumerables especies de peces, los batracios, para quienes el agua es indispensable, y donde muchos vi-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ven en ella exclusivamente, y aun en los vertebrados superiores muchos mamíferos, cetáceos y pinnípedos.

Muchos reptiles, como los cocodrilos y algunas tortugas, viven todavía en las aguas. En el segundo grupo que hemos citado, en el de los artrópodos, se halla, en efecto, que tienen una existencia terrestre los insectos, cuyas especies se fijan en cientos de miles, los arácnidos y los miriapodos. Pero además de que muchos de estos seres son acuáticos, ya toda su vida ó ya durante el período larvario, puede oponerse la clase no menos variada y numerosa de crustáceos, casi exclusivamente acuática y marina.

A excepción de estos dos grupos, el resto de los seres vivientes que forman el reino animal vive casi enteramente en las aguas. Los moluscos terrestres, como el vulgar caracol, y los gusanos terrestres, como la lombriz, son muy poca cosa al lado de la riqueza desconocida de formas variadas de estos dos grupos que contienen las aguas. Hay grupos enteros, como el de los equinodermos, con los erizos y estrellas de mar; el de los celentéreos, con las formas tan variadas de corales y actinias, y el de los espongiarios, que no tienen representación alguna terrestre.

Y si el reino vegetal parece predominar en los continentes, que cubre de bosques y vegetaciones varias, no hay que olvidar que las aguas están pobladas por la inmensa familia de las algas y que muchos vegetales más elevados en organización viven igualmente en este medio acuático.

En presencia de estos hechos, es permitido preguntar si los primeros seres que aparecieron sobre el globo terrestre vivirían en las aguas. El estudio de las diversas formas como ha podido reconstituir la historia los períodos geológicos que nos han precedido, los singulares encadenamientos que unen entre sí clases en apariencia muy distintas de seres vivientes, dan á esta hipótesis un valor muy serio y parecen mostrar que los órganos especiales de locomoción, de respiración y de sensibilidad necesarias á la vida terrestre han tenido por origen los mismos órganos de animales acuáticos, adaptados *poco á poco* á vivir en los continentes.

Pasaremos muy rápidamente en revista todas estas grandes funciones que llena el agua en nuestro globo, para concretarnos con más especialidad á las que justifican el título de este volumen.

El agua se emplea en la higiene y en la alimentación de la especie humana; pero su poder disolvente por una parte, el exce-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

lente medio que suministra á la vida de los organismos inferiores por otra, hacen que sea con frecuencia impropia para estos usos y que se han debido imaginar muchos medios propios para reconocer su valor en este concepto ó corregir sus imperfecciones. El agua en estado líquido se utiliza, merced á su poder disolvente, en numerosas industrias de lavados, teñidos, etc., para las que debe tener determinadas propiedades, y aun á veces es necesario transformarla en vapor, por la acción que puede ejercer sobre los aparatos donde se verifica esta transformación. En cuanto al aprovechamiento del agua en este estado, lo pasaremos en silencio, pues se trata nada menos que de innumerables aplicaciones del vapor, que pertenecen en su mayoría á la mecánica pura y no tienen en este sitio lugar oportuno.

Por el contrario, bajo la forma sólida posee el agua cada día mayor número de aplicaciones á la industria, y se convierte con frecuencia en este estado á causa de las reacciones químicas que debemos estudiar.

Pero es necesario ante todo explicar de un modo exacto las razones de este universal empleo y estudiar para eso las propiedades físicas y químicas que presenta este cuerpo, del que hacían los antiguos con el aire, la tierra y el fuego uno de sus cuatro elementos, y aun el *elemento* por excelencia, de donde todo salía y adonde debían volver todas las cosas.

Ha sido necesario que transcurran muchos años para que un cuerpo tan vulgar y tan abundantemente esparcido fuera conocido de un modo preciso en cuanto á su composición. El hecho de considerarla como un elemento implicaba la idea de ser un cuerpo simple, y sólo ha sido en época cercana cuando se ha abandonado esta errónea creencia.

Sometiendo á una larga ebullición el agua de lluvia, los químicos de los siglos anteriores, como Boyle y Margraff, admitieron que se componía de tres cuerpos: el aire que se desprende por ebullición, el residuo térreo que queda en el vaso y el agua propiamente dicha. Por una hipótesis atrevida, pero sin que la justificase ninguna experiencia, Hoffmann vió con más claridad que los ilustres sabios que hemos citado, y sostuvo que el agua estaba formada de un fluido gaseoso muy sutil y un principio salino. Debemos añadir que la idea no tuvo éxito alguno, y hacia el año 1740 sostenía Eller todavía que el agua se transformaba en tierra por una larga ebullición en una vasija de vidrio. Aunque Rouelle, demostrador en el Jardín de plantas, hubiese puesto de mani-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

fiesto que se trataba de una impureza fortuita, de la que se la podía privar por una destilación cuidadosa, vemos todavía en 1770 á Scheele, después á Lavoisier, ó sea los dos nombres más ilustres, con Davy, de la naciente química, discutir gravemente esta cuestión y resolverla. Lavoisier mantuvo con este objeto, durante tres meses y medio, agua á 85° en un matraz de vidrio, y cuando finalizó esta laboriosa experiencia demostró que el vaso había perdido cierta cantidad de su sustancia, precisamente igual al residuo de la evaporación final del líquido.

En este intermedio, Cavendish descubrió el hidrógeno y Scheele había ya deducido cuáles pudieran ser los productos de su combustión en el aire. Las ideas stalianas, que ya hemos reseñado en el volumen referente á la historia de la química, llenaban por completo la imaginación de Scheele, que jamás desconfió de ellas. Fueron la causa de que en esta ocasión no realizara el descubrimiento de la composición del agua. Para él, el resultado de la combinación hidrógeno-oxígeno era el flogisto.

«El genio en las ciencias de observación se reducirá á la facultad de decir oportunamente: ¿Por qué?» Esta humorada de Arago podría aplicarse á una experiencia de Macquer, otro químico que era, como Rouelle, demostrador en el Jardín de plantas. Macquer quemó hidrógeno en la extremidad de un tubo estirado en capilar y vió, interrumpiendo la llama por medio de un platillo, depositarse en éste gotitas de un líquido que se observó era agua pura, sin mezcla alguna de sustancias extrañas, que de ordinario acompañan la combustión. Macquer no se hizo cargo que tenía entre las manos un gran descubrimiento, y cita el hecho sin hacer el menor comentario.

El físico inglés Warltere ensayó el efecto que podía producir la chispa eléctrica en diversas mezclas gaseosas, y detonó en un vaso cerrado el hidrógeno mezclado con aire. Observó que se formaba agua y que el peso de la masa gaseosa había disminuído notablemente. Cavendish repitió esta experiencia con el mismo éxito, y Priestley, á quien ya debía la química magníficos descubrimientos sobre los gases, dió un gran paso progresivo en el asunto, demostrando que el peso del agua formada era exactamente igual á los pesos reunidos del oxígeno y el hidrógeno.

Mientras se realizaban estas investigaciones trabajaba Lavoisier en el mismo sentido. Creyó desde luego que la combinación de estos dos gases debía dar ácido carbónico, ó también ácido vitriólico, y se extrañó de no hallar nada semejante á esto. Habiendo

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

hecho la experiencia en grandes cantidades de gas, pudo obtener, con Laplace y otros muchos académicos, más de 20 gramos de agua. La repitió con Meusnier, su colaborador, y pudo anunciar que el agua se componía de 85 partes de oxígeno y 15 de hidrógeno; resultado algo erróneo, á consecuencia de las diversas imperfecciones de los aparatos. Estos se componían, en efecto, de dos gasómetros, que llevaban los gases á una campana donde se había hecho el vacío y en donde se hacían saltar chispas eléctricas entre dos bolas de cobre. El aire no pudo nunca expulsarse por completo del aparato, y el agua contenía siempre, por consecuencia, un poco de ácido nítrico debido á la oxidación del ázoe. Meusnier varió esta experiencia y demostró que la combustión del alcohol da origen al agua. Pudo de esta suerte recoger más de 500 gramos de este líquido, obtenido sintéticamente.

Restaba ahora hacer la contraprueba de estos experimentos, para establecer definitivamente la composición del agua. Fundándose Lavoisier y Meusnier en algunos hechos anteriores, concibieron la idea de hacer pasar el agua en vapor por el hierro calentado hasta el rojo. Pudieron demostrar de este modo que se desprendía hidrógeno, y que el oxígeno que se fijaba en el hierro le había transformado en óxido negro y friable. Pesando el líquido que quedaba en la retorta, se sabía qué cantidad de agua se había descompuesto. El aumento de peso del hierro da el oxígeno desprendido y el hidrógeno se pesa directamente con arreglo al volumen recogido. Pudieron de esta manera Lavoisier y Meusnier confirmar su hipótesis, pues el análisis les suministró resultados muy próximos á los de la síntesis.

Estas ideas se recibieron con una viva oposición y fueron confirmadas por una memorable experiencia de Fourcroy, Seguin y Vauquelin, hecha con el aparato de Lavoisier, que duró día y noche sin interrupción, por espacio de 185 horas, y dió 384 gramos de agua.

En 1800, Carlisle y Nicholson descubrieron que el agua se descomponía en sus elementos por la acción de la corriente eléctrica, y demostraron que se desprendía en el polo negativo hidrógeno en cantidad dos veces mayor que el oxígeno desprendido en el polo positivo. Gay-Lussac y Humboldt detonaron en el eudiómetro volúmenes exactamente medidos de oxígeno é hidrógeno, y pudieron demostrar que es, en efecto, exactamente en la relación de dos á uno como se combinan los volúmenes de estos gases para formar el agua. Toda cantidad introducida en exceso

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

queda como residuo en la probeta graduada que constituye el instrumento. Los resultados de la experiencia repetidos frecuentemente, procurando evitar toda causa de error, han sido constantes.

Por último, Berzelius y Dulong, y después Dumas, han comprobado la composición centesimal del agua. Su procedimiento está fundado en el hecho de que el óxido de cobre y otros diversos óxidos, calentados en una corriente de hidrógeno, dan agua y vuelven á pasar al estado metálico. Este procedimiento es susceptible de un gran rigor; partiendo de elementos perfectamente puros y secos, pesados con el mayor cuidado, ha podido deducir Dumas, de una larga serie de experiencias, que el agua se componía de oxígeno é hidrógeno, combinados en peso en la relación sencilla de 8 del primero por 1 del segundo.

Esta serie laboriosa de experiencias ha conducido á considerar el agua como un compuesto de *protóxido* de hidrógeno.

Cuando es perfectamente pura, y veremos después cómo puede obtenerse así, el agua es un líquido desprovisto por completo de olor, color y sabor, que puede conservarse indefinidameute al abrigo del contacto del aire, no deja residuo alguno por evaporación y no posee reacción alguna ácida ó alcalina.

En razón á su presencia universal, se ha tomado su densidad como tipo de las densidades de los cuerpos. Un vaso que tenga exactamente un decímetro de lado, lleno de agua á la temperatura de 4 grados por cima de 0° y á la presión atmosférica normal de 760 milímetros de mercurio, contiene el peso de este líquido que equilibra en la balanza á un kilogramo. Un cuerpo cuyo peso específico ó densidad es, por ejemplo, 7, pesa en un mismo volumen siete veces más que el agua.

Expuesta al frío, presenta el agua una serie de fenómenos notables. Su volumen disminuye de un modo progresivo hasta el grado 4 del termómetro; sigue en esto la ley que rige la mayor parte de los cuerpos. Pero á partir de este punto aumenta, por el contrario, su volumen poco á poco hasta 0°, y de un modo brusco desde este grado, que marca su congelación. Siendo de este modo el volumen de agua el mínimum á 4 grados por cima de 0°, su densidad es el máximum, lo cual explica que se haya elegido precisamente ese punto invariable para determinar la densidad del agua. Aumentando el volumen del agua sobre todo cuando se congela, y decreciendo en sentido inverso su densidad, es fácil explicarse dos hechos de gran importancia. El hielo se

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

forma en la superficie del agua y flota en este líquido; el agua, pasando del estado líquido al sólido, debe á su aumento de volumen los efectos mecánicos ejercidos sobre los cuerpos que la contienen.

El primero de estos dos fenómenos se halla íntimamente unido á la vida de los seres acuáticos. Si el hielo cayera en el fondo del agua, á consecuencia de su mayor densidad sería incesantemente reemplazado en la superficie por nuevas capas que sufrirían la misma suerte; de manera que toda la masa líquida se solidificaría rápidamente y se suspendería la vida en las condiciones en que se ejerce en el globo. Se conocen, á decir verdad, algunas excepciones, imperfectamente explicadas, en que el hielo se ha formado en el fondo de las corrientes de agua. El gran número de observaciones positivas obliga á admitir el hecho, pero es necesario reconocer que ninguna teoría definitiva se ha dado acerca de él.

En cuanto á los efectos mecánicos del agua congelada, son demasiado conocidos para que tengamos que insistir mucho en este punto. Experiencias por decirlo así históricas se han hecho en vasos de paredes muy resistentes, que la dilatación del agua llegó á producir su ruptura, alcanzando en algunos casos la presión de 1.000 atmósferas y aun más. Las piedras llamadas *heladas* se disgregan porque el agua que retienen en sus hendiduras las hace romperse; los tubos de conducción, los cuerpos de bomba, los vasos de cuello estrecho llenos de agua y sometidos á la congelación, se rompen por el mismo mecanismo, al que hay que atribuir también la desorganización de los tejidos vegetales producidos por la helada.

La solidificación del agua es una verdadera cristalización. En la superficie de un agua tranquila puede observarse la formación de pequeñas agujas triangulares, que se reunen en ángulos constantes, iguales á la tercera ó á la sexta parte de la circunferencia, para formar figuras hexagonales muy variadas, notables por sus formas regulares y artísticas. Es principalmente muy fácil observar estos cristales regulares en la escarcha.

Se ha convenido en tomar como uno de los puntos fijos del termómetro el sitio donde se detiene el mercurio cuando el aparato se sumerge en el hielo fundente. Se anota 0° en este punto, que es siempre fácil encontrar; cuando se hace uso de agua muy pura, ésta, en efecto, se congela siempre á la misma temperatura. No sucede lo mismo cuando el agua contiene sustancias extrañas; puede entonces solidificarse á 0° y rápidamente, y puede tam-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

bién, en presencia de algunas sales muy solubles, llegar muy difícilmente á congelarse. Cuando está, por ejemplo, saturada de cloruro de calcio, el agua no se congela sino á —40°. Luego que tiene lugar la congelación, se forma un líquido complejo de agua y sustancias disueltas; los cristales que se forman están desde luego constituídos por agua pura, y el residuo no congelable contiene las materias disueltas. Así puede observarse en las regiones polares sitios en que los témpanos de hielo están enteramente formados por agua pura. Retienen tanta más sal cuanto ha sido más baja la temperatura á que se ha operado su congelación.

El agua no se congela forzosamente á 0°. Exponiéndola á un frío gradual en un vaso colocado fuera de todo movimiento puede bajar la temperatura hasta —12° sin que el agua se congele. Pero la menor agitación basta entonces para producir la cristalización brusca de toda la masa, y se observa al mismo tiempo que la temperatura sube de 0° á consecuencia del desprendimiento de calor producido por la solidificación del agua.

El punto de fusión del hielo varía con la influencia de la presión en límites bastante estrechos, pero que producen, sin embargo, interesantes fenómenos. Una fuerte presión desciende el punto de fusión del hielo y se pone en evidencia por el siguiente experimento, llamado fenómeno del *rehielo*. Un gran trozo de hielo sostenido en sus dos extremidades recibe en su parte media un hilo de hierro que sostiene en sus extremos dos grandes pesos. Se observa que el hilo de hierro penetra en la masa, la atraviesa enteramente seccionándola y cae al otro lado del fragmento, sin dejar en él solución de continuidad. El camino abierto por el hilo se ha llenado por el agua de la fusión producida gracias á la presión. Dos pedazos de hielo sometidos á una fuerte presión concluyen por soldarse en virtud del mismo mecanismo. Tyndall ha dado otra forma á este experimento, comprimiendo el hielo con auxilio de una prensa entre dos placas gruesas con una cavidad en forma de porción de esfera. Por la presión, los fragmentos de hielo se parten desde luego; después se aglomeran, gracias al agua de fusión producida, y concluyen por formar una especie de lente modelada, transparente y homogénea. Veremos la importancia de esta explicación cuando digamos algunas palabras de los ventisqueros.

Cuando se somete á la fusión cierta cantidad de hielo, se observa que un termómetro colocado en la mezcla permanece á la temperatura de 0° mientras hay hielo sin fundir. El calor que

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

suministra á la masa sólida se invierte tan sólo en producir el trabajo mecánico necesario para la transformación del hielo en agua. Se llama calor de fusión de un cuerpo la cantidad de calor absorbida por la unidad de peso de este cuerpo para pasar al estado líquido sin elevación de temperatura. Esta cantidad de calor se expresa en *calorías*. Se designa bajo este nombre la unidad de calor necesaria para elevar de 0° á 1 grado la temperatura de 1 kilogramo de agua. Pero se encuentra que la temperatura de la fusión del hielo se expresa por 79 $^1/_4$ calorías, lo que significa en otros términos que se podría elevar á 79°,25 un kilogramo de agua, ó elevar á 1° 79^k,25 de agua, con la cantidad de calor necesaria para fundir un kilogramo de hielo.

Hay otra cantidad cuya determinación ofrece gran interés, y es la del *calor específico*. Si se sumerge, por ejemplo, un kilogramo de cobre calentado á 100° en un kilogramo de agua á 0°, se observa que la temperatura final es de 9° solamente. Esto quiere decir que la cantidad de calor abandonada por el cobre es de 9 calorías, puesto que ha podido elevar á 9° un kilogramo de agua. Estas 9 calorías son, pues, suficientes para elevar la temperatura de 1 kilogramo de cobre de 9 á 100°; el agua en las mismas condiciones exigirá, según la definición, 91 calorías, ó sea cerca de 10 veces más.

Se llama, en general, calor específico la cantidad de calor necesaria para elevar 1° la temperatura de 1 kilogramo de un cuerpo. El ejemplo que acabamos de citar demuestra que el agua, tomada por unidad, posee un calor específico mucho mayor que el cobre. Se puede generalizar este resultado, porque estando el calórico específico del agua representado por 1, los de todos los demás cuerpos están expresados por números menores que la unidad y con frecuencia muy bajos. Para la plata este número desciende á 0,05, para el hierro á 0,11 y para el mercurio á 0,03. El del vidrio es de 0,19, el de la esencia de trementina 0,42 y el del carbón de madera 0,24. El agua se distingue, pues, de todos los demás cuerpos, de un modo muy marcado, por su gran calor específico. Veremos en lo sucesivo que esta propiedad es extraordinariamente apreciable.

Sometida á la acción del calor á partir de 0°, el agua se contrae primero, como hemos visto, hasta la temperatura de 4°,10, donde tiene su máximum de densidad; después se dilata cada vez más hasta llegar á 100°, en que entra en ebullición. Del mismo modo que el punto 0, el punto 100 de la escala termométrica está

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

fundado en un fenómeno particular del agua, que se puede reproducir fácilmente. Es necesario también advertir que esta temperatura de ebullición está unida á la presión atmosférica correspondiente á una altura de 76 centímetros de mercurio. Si se aumenta la presión con una bomba comprimente de aire, la ebullición tiene lugar por cima de 100°, y esta temperatura crece rápidamente con la presión. Si, por el contrario, se enrarece el aire del espacio donde tiene lugar la ebullición, podrá producirse este fenómeno á una temperatura muy inferior á 100°. La ebullición consiste, en efecto, en que se ponen en libertad tumultuosa las burbujas de aire contenidas en un líquido, distendidas por su vapor, cuando éste vapor alcanza una presión igual á la de la atmósfera ambiente. Se comprende de este modo que este escape de vapor se produce más pronto si la presión que se le opone es menor, y que, por tanto, la frase agua hirviendo no sea siempre sinónimo de agua que quema.

Este efecto se hace inmediatamente sensible en el momento en que hay elevación de altura: á 65 metros el agua hierve ya á 99°; á 4.000 metros hierve á 86°,3, y ha podido fundarse en esto un medio para medir la altura de las montañas, empleando un termómetro muy sensible.

Por el contrario, basta impedir el desprendimiento de vapor y añadir la presión de éste á la de la atmósfera para que aumente la temperatura de ebullición del agua. El hecho se utiliza industrialmente en la autoclava ó marmita de Papin y en las calderas de vapor. Una columna de 76 centímetros de mercurio en el tubo barométrico, correspondiente á una atmósfera, basta para medir una presión cualquiera, y eso es lo que realizan los manómetros, cuya graduación se expresa en atmósferas.

Cuando este instrumento marca en una caldera dos atmósferas, el punto de ebullición del agua es 121°; á 3 atmósferas es de 134, á 5 atmósferas de 152, á 10 atmósferas de 180 y á 28 atmósferas de 230.

Por la ebullición el agua se transforma en vapor, fácil de poner en evidencia cuando se condensa en contacto de un cuerpo frío. Pero este fenómeno se produce á cualquier temperatura, y aun se ha determinado con auxilio de experiencias precisas la emisión de vapor de agua á la temperatura de —10°. Sabemos que á 100° la presión ejercida por el vapor de agua para desprenderse equivale á 76 centímetros de mercurio, y puede expresarse del mismo modo la *fuerza elástica*, la *tensión del vapor*, á temperatu-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ras inferiores. De este modo se encuentra que á —10° el vapor emitido por el agua podría equilibrar solamente 2 milímetros de mercurio, 4 milímetros á 0°, 17 milímetros á 20° y 41 milímetros á 35°. Se da el nombre de evaporación á la emisión lenta de vapor en la superficie de un líquido.

El volumen ocupado por el vapor de agua producido á 100° es próximamente 1.700 veces mayor que el del agua de que procede. Esta fuerza expansiva es, pues, un origen de energía considerable y las máquinas de vapor no hacen más que utilizar esta propiedad.

Se puede determinar, como hemos hecho para el agua sólida y líquida, qué cantidad de calor absorbe el agua para pasar al estado de vapor, ó en otros términos, su calor de vaporización. Aquí también el agua se distingue de todos los demás cuerpos porque el calor de vaporización es más elevado. Dado un kilogramo de agua á 100°, es necesario para transformarle en vapor saturante 537 calorías. En las mismas condiciones, el alcohol no exige más de 200 y la esencia de trementina 70.

Se puede observar al mismo tiempo que esta cantidad de calor es mucho mayor que la necesaria para elevar el agua de 0° á 100°; 1 kilogramo de vapor á 100 grados, condensado en $5^{k},500$ de agua á 0°, da $6^{k},500$ de agua á 100°, restituyendo el calor que ha servido para comunicarle este estado. Esta experiencia es la base de la calefacción al vapor, tan universalmente empleada. Se sabe que esta calefacción consiste en dirigir á la masa del líquido que se va á calentar el vapor acuoso procedente de un generador cualquiera. El tubo que conduce el vapor puede estar agujereado de manera que atraviese el líquido con el cual se mezcla condensándose, pero este procedimiento puede presentar inconvenientes cuando no se quiere diluir los líquidos. Basta entonces que circule el vapor por serpentines cerrados que presenten una gran superficie.

Esta calefacción presenta múltiples ventajas sobre la operada á fuego desnudo. Un solo hogar, el del generador, exige un entretenimiento, y como las pérdidas inevitables de calor se multiplican por el número de hogares, estas pérdidas son mucho menores en el caso presente. Por último, la simple lectura de las indicaciones del manómetro permite conocer á qué temperatura se encuentra el vapor, y basta manejar convenientemente un grifo para regular con toda la precisión necesaria la llegada del vapor, y por consiguiente la temperatura, sin que haya que temer jamás

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

los *golpes de fuego* producidos por una calefacción desigual de las paredes, como sucedería con el combustible que se quemara sobre una rejilla.

En resumen, de esta exposición de las propiedades físicas del agua vemos que la mayoría de ellas le pertenecen exclusivamente. Como la mayor parte de los líquidos, se congela y se reduce á vapores; pero estos fenómenos están comprendidos entre límites de temperatura tales que el estado sólido y el líquido pueden tener lugar anualmente en la naturaleza, por sólo el efecto de los agentes cósmicos. Además, su temperatura de ebullición, bastante elevada para que le sea habitual el estado líquido, es bastante baja para que la evaporación se produzca fácilmente y se manifieste á la temperatura ordinaria.

También se observa que el fenómeno de la congelación del agua se marca por dos hechos característicos: el aumento de volumen del hielo y el máximum de densidad que presenta á los 4°.

Por último, el calor de fusión, el calor específico y el calor de evaporación del agua en sus tres estados son considerables, y las dos últimas cantidades sobre todo exceden notablemente de las que se refieren á los demás cuerpos (1).

Las propiedades químicas del agua no son menos especiales. De una neutralidad absoluta respecto á nuestros sentidos, lo es también respecto á los reactivos y disuelve con igual facilidad los ácidos y las bases, las sales metálicas neutras y muchos compuestos orgánicos. El agua es, sin embargo, un agente químico de los más importantes en la constitución de los cuerpos. Algunos metaloides, como el azufre, el ázoe y el fósforo, forman con el oxígeno combinaciones variadas, entre las que se hallan los llamados *anhídridos*. Tales son el anhidrido sulfúrico, los anhidridos carbónico, nítrico y fosfórico. Estos cuerpos no manifiestan propiedad alguna ácida cuando están privados de los menores indicios de agua, pero se combinan con gran energía con este líquido desprendiendo también mucho calor, y el resultado de esta combinación es un ácido que lleva el mismo nombre que el anhidrido y cuyas propiedades pueden evidenciarse fácilmente. En-

(1) Según Arago y Fresnel, el agua en su máximum de densidad no refracta más la luz que cuando tiene una densidad menor, pero aumenta de 4° á 0° como si continuase creciendo la densidad. A + 8° tiene casi la misma densidad que á 0°, por lo cual sólo se congela la superficie de los ríos y los lagos en las estaciones frías, pues la densidad del agua va en aumento desde 0° á 4°, para disminuir desde este grado en adelante. *(N. del T.)*

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

rojecen el papel azul de tornasol y se combinan con las bases para dar sales. El agua ha ejercido, pues, un gran papel en estas reacciones; pero puede también combinarse con los ácidos producidos de este modo en proporciones definidas y dar origen á verdaderos *hidratos*, de propiedades diferentes. El ácido clorhídrico, el ácido nítrico y el fosfórico producen de este modo hidratos, y el cloro lo forma igualmente con el agua. Se utiliza esta última propiedad para la licuefacción fácil de este gas, calentando el hidrato cristalizado en un tubo cerrado, en que se comprime el gas producido.

Los óxidos de los metales, como los de los metaloides, sobre todo de los metales alcalinos y térreos, se conducen como anhidridos y no manifiestan las propiedades básicas que poseen en general sino cuando están combinados con el agua. Es el caso de la potasa, de la sosa, de la cal, y la analogía es completa, por el mucho calor que desprenden estas reacciones. Cuando se vierte agua sobre la cal para *apagarla*, la temperatura llega y aun excede de 300°. En los hidratos de potasa y sosa, el agua está retenida de un modo tan enérgico que no la puede separar el calor.

El agua no siempre actúa sobre las sales metálicas como un simple disolvente; descompone de un modo total ó parcial las sales de ácido y base débiles, como el acetato de hierro y las sales ácidas, cuyo ácido es mono ó polibásico. Los bicarbonatos son un ejemplo del segundo caso; una corriente de aire previamente privado de ácido carbónico y que pase á través de una solución diluída de bicarbonato de sosa enturbia el agua de cal á su salida, lo cual prueba que ha arrastrado ácido carbónico libre (1). El agua forma muy frecuentemente parte íntima de la constitución de las sales, de suerte que no pueden perderla éstas sin descomponerlas. Además, puede existir al estado de agua de *cristalización*; en este caso, las propiedades de la sal no se alteran por la pérdida del agua, ó al menos las adquieren por la restitución del agua separada. Con frecuencia coexisten el agua de cristalización y el agua de constitución en la misma sal, como en el fos-

(1) Hay casos en que el agua no actúa como disolvente neutro, cual acontece con algunas sales, el nitrato bismútico y el cloruro antimónico, que se disocian, descomponiéndose y formando las subsales, tan conocidas con los nombres de subnitrato de bismuto y oxicloruro de antimonio. Análoga descomposición tiene lugar con el nitrato mercurioso, sulfato mercúrico y otras sales. *(N. del T.)*

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

fato de sosa del comercio, que con 24 equivalentes de agua de cristalización contiene un equivalente de agua íntimamente combinado, que no se le puede hacer perder sin cambiar su manera de cristalizar y sus propiedades.

Existe también una manera de ser del agua en las sales cristalizadas, y es cuando este líquido se halla mecánicamente interpuesto en las caras de los cristales. Es fácil comprender que contendrá tanto más cuanto más voluminosos sean los cristales, y como la cristalización se hace en un *agua madre*, donde se ha tratado de eliminar las impurezas incristalizables, se observa que este objeto no se alcanza cuando los cristales muy voluminosos retienen notables cantidades de este agua madre impura. Cuando se aspira á la pureza de la sustancia, con preferencia á su aspecto comercial, se obtienen pequeños cristales, lo que se consigue agitando la solución mientras cristaliza.

Los cuerpos en cuya constitución no entra el agua, sino que son anhidros, pueden retener también agua entre las laminitas de sus cristales. Este es el caso de la sal marina, y así se explica el fenómeno de la *decrepitación* que tiene lugar cuando se proyectan sus cristales en el fuego. La fuerza elástica del vapor en que se transforma el agua interpuesta rompe los cristales con explosiones sucesivas y proyección de pequeños fragmentos.

El agua se descompone en sus elementos por un gran número de agentes físicos y químicos. Si se hace pasar vapor de agua por carbón enrojecido, se produce una mezcla de ácido carbónico, óxido de carbono é hidrógeno. Se forma tanto más óxido de carbono cuanto más alta es la temperatura. Esta reacción presenta una gran importancia industrial. Se observará, en efecto, que el óxido de carbono y el hidrógeno son dos cuerpos eminentemente combustibles, cuya combustión puede dar altas temperaturas que no se podrían obtener por la sencilla combustión del carbón. Así se ha tratado de utilizar de este modo los combustibles en los casos cada vez más numerosos en que hay necesidad de temperaturas elevadas: se dirige vapor acuoso sobre carbón incandescente y se someten á la combustión los gases desprendidos. Este es el sistema de los gasógenos, que tiende á extenderse cada vez más.

Muchos metales pueden descomponer el agua. Un fragmento de potasio ó sodio colocado en este líquido se oxida en contacto del oxígeno desprendido por esta descomposición, mientras que el hidrógeno puesto en libertad puede inflamarse por la energía de la reacción. La mayor parte de los metales no actúan sino á

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

una temperatura más ó menos elevada; así es que el hierro descompone el agua al rojo, y en esta propiedad es en la que Lavoisier y Meusnier se fundaron para practicar el análisis de este cuerpo. El hecho de la descomposición del agua por el calor se puso en evidencia por Grove, que sumergiendo en este líquido una bola de platino fuertemente calentada, observó que se desprendía una mezcla detonante de oxígeno é hidrógeno.

La descomposición del agua por el calor fué estudiada por Sainte-Claire Deville, que la refirió á un conjunto notable de fenómenos conocidos con el nombre genérico de *disociación*. El aparato de que se sirvió es el siguiente: Un tubo estrecho de porcelana porosa se coloca en el interior de un segundo tubo más ancho de porcelana barnizada é impermeable. Resulta de aquí un espacio anular y un espacio central. Uno y otro llevan un tubo de desprendimiento que desemboca en una campana estrecha que contiene una solución de potasa. Se hace llegar al tubo central una corriente de vapor de agua, y al espacio anular otra de ácido carbónico, y se enrojecen los dos tubos.

Se observa entonces que se desprende el hidrógeno, mezclado con ácido carbónico, por el sitio correspondiente al espacio anular, mientras que el oxígeno, mezclado igualmente con ácido carbónico, se desprende sólo del tubo interior. Las conclusiones de esta experiencia son las siguientes: el agua se ha descompuesto en sus elementos, pero el hidrógeno atraviesa las paredes porosas mucho más pronto que el oxígeno; se ha separado, pues, de este último por el tubo poroso que actúa como un simple filtro y ha sido arrastrado por el ácido carbónico del espacio anular. Algo de este último gas ha podido difundirse igualmente en sentido inverso y mezclarse con el oxígeno del tubo interno. Pero si se hace pasar simplemente el vapor acuoso por un tubo de porcelana, aunque sea muy fuertemente calentado, no se demuestra ya la descomposición, porque la mezcla de los gases se combina en las porciones menos calientes del aparato. El fenómeno de descomposición y el de recomposición se hallará, pues, en un estado de equilibrio variable, merced á la presencia simultánea del cuerpo compuesto y de los productos de su descomposición. Para una temperatura dada existe una fuerza elástica ó presión de la mezcla de estos dos últimos productos correspondiente é igualmente dada. Si la temperatura aumenta, se producirá una nueva descomposición y aumentará la presión correspondiente.

Pero si se disminuye la temperatura de manera que se haga

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

descender del grado inicial, se observa igualmente la vuelta á la presión inicial y la combinación de cierta cantidad de hidrógeno y oxígeno. A esta descomposición, limitada por la presencia de sus productos, es á la que se da el nombre de *disociación*. Es una manera muy general de descomposición de los cuerpos, en que el agua ha suministrado uno de los primeros y mejores ejemplos (1).

Sabemos que la corriente eléctrica suministra uno de los medios más fáciles de descomponer el agua en sus elementos y poner de este modo en evidencia su composición.

La propiedad más característica del agua es su poder disolvente. Los antiguos químicos la llamaban *el gran disolvente de la naturaleza* á consecuencia de esa propiedad que se ejerce sobre los sólidos, líquidos y gases. La solubilidad de los primeros aumenta en general con la temperatura. Si se representa por líneas verticales de longitud variable los pesos de sustancia que se disuelven á temperaturas sucesivas de grado en grado, por ejemplo, se tendrá, uniendo las extremidades de estas líneas, la curva de solubilidad de esa sustancia. Podrá ser muy inclinada, por ejemplo, en el caso del salitre; casi horizontal en el caso de la sal marina, tan soluble en frío como en caliente, y presentar las anomalías del caso del sulfato de sosa, cuyo máximum de solubilidad es de 33 grados. La solubilidad de algunos cuerpos es tan grande, que el agua disuelve muchas veces su volumen de ellos; puede ser extraordinariamente débil para otras sustancias que se disuelven en proporciones infinitesimales, pero hay en realidad muy pocas que sean absolutamente insolubles en el agua.

Además, un gran número de cuerpos no les moja el agua. Tales son el mercurio y los cuerpos grasos. Estos últimos afectan frecuentemente, cuando se mezclan con agua, un estado muy dividido en glóbulos esféricos que da á esta emulsión un aspecto lechoso. La leche es uno de los ejemplos más perfectos de semejante mezcla.

La disolución de los gases en agua sigue una ley inversa de la de los sólidos; dichos cuerpos se disuelven, en efecto, tanto mejor cuanta más baja es la temperatura. La presión interviene también de un modo muy importante para facilitar la disolu-

(1) A Sainte-Claire Deville debe la ciencia los primeros y más notables trabajos sobre la disociación, publicados en 1864, que es uno de los casos de mecánica química y que puede definirse diciendo que es la descomposición parcial de un cuerpo limitada por una acción inversa. Se comprenden en este orden de ideas muchas de las reacciones químicas. *(N. del T.)*

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ción. Así es que un líquido cargado de gases por compresión, como los vinos espumosos ó el agua de Seltz, los deja desprenderse en parte cuando cesa el exceso de presión y en totalidad cuando se calienta á la ebullición durante un tiempo suficiente.

Se llama coeficiente de solubilidad de un gas la cantidad de este gas que se disuelve á la presión atmosférica y á 0° por cada litro de agua. Este coeficiente varía con los diversos gases, y cuando se pone agua en presencia de una mezcla gaseosa, cada uno de los cuerpos que forman esta mezcla se disuelve como si fuese solo con la presión que posee en la mezcla.

Esta ley, debida al físico inglés Dalton, permite dar idea de la composición de los gases en el agua. Para extraer éstos se llena completamente de agua un globo de vidrio. Se cierra con un tapón que atraviesa un tubo de desprendimiento igualmente lleno de agua y que viene á salir por debajo de una probeta llena de mercurio. Se coloca esta probeta solamente después que el líquido del globo se ha dilatado por el calor y se ha derramado el exceso. Por ebullición se recogen entonces en el mercurio los gases contenidos en el agua. En un litro de agua de lluvia hay 23 centímetros cúbicos de gas, cuya composición es la siguiente: 65 por 100 de ázoe, 32 de oxígeno y 2,2 de ácido carbónico. En un litro de agua corriente se han obtenido 54 centímetros cúbicos de gas, que contienen 39,5 de ázoe, 18,6 de oxígeno y 41,7 de ácido carbónico por 100.

Las relaciones del oxígeno y el ázoe en estos dos análisis son, pues, casi las mismas y cercanas á 2. Es un resultado muy diferente el que suministra el análisis del aire, puesto que la relación

$$\frac{\text{79 ázoe}}{\text{21 oxígeno}}$$

es próxima á 3,7. El agua es, por tanto, mucho más rica en oxígeno que el aire. Se ve también que la proporción de ácido carbónico es mucho mayor en las aguas corrientes, lo que procede de la presencia en estas aguas de bicarbonatos fácilmente descomponibles.

En el aire, puesto en contacto con el agua, el ázoe se disuelve como si se hallase solo con una presión igual á los 4/5 de la presión total, correspondiente á su proporción en la atmósfera. El oxígeno se conduce del mismo modo con una presión de 1/5.

Los coeficientes de solubilidad de estos dos gases son además muy distintos; para obtener la relación de las cantidades respectivas disueltas, es necesario multiplicar por 4/5 el coeficiente del

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ázoe y por 1/5 el del oxígeno. Se demuestra que esta operación da exactamente las proporciones de estos dos gases que el análisis demuestra en las aguas. Volveremos después sobre este asunto (1).

Por consecuencia de su gran poder disolvente, el agua que se halla en la naturaleza jamás es completamente pura. Existeu en ella el sulfato de cal, los cloruros de sodio, de potasio y de calcio, así como también indicios de nitratos. Todavía hay muchas sustancias que no son solubles y se hallan también en el agua, gracias á la acción disolvente del ácido carbónico. Hay también carbonato de cal, fosfato de cal y sílice, que disueltos en estas condiciones se precipitan cuando se elimina el ácido carbónico por ebullición.

Vamos ahora á pasar en revista las diversas formas en que el agua se encuentra en el globo, y tendremos ocasión, á medida que vayamos estudiando el asunto, de ver detalladamente su acción química y física y las sustancias que tiene en disolución. Estudiaremos primero el agua al estado de vapor, formando las nubes, las nieblas y los diversos meteoros acuosos; después el agua en el estado líquido, bajo la forma de precipitaciones atmosféricas, aguas subterráneas, aguas aéreas corrientes ó estancadas, aguas termales y mineralizadas.

Veremos en seguida el agua de mar, su papel, su acción física y química, y estudiaremos por último el agua al estado sólido, que forma los hielos polares y los ventisqueros de las regiones montañosas.

Podremos entonces estudiar de un modo más especial las aguas potables, las condiciones de la vida en estas aguas y sus alteraciones.

(1) El agua puede analizarse: 1.°, utilizando la acción descomponente del potasio ó el sodio á la temperatura ordinaria, pues el oxígeno se combina con estos metales y queda el hidrógeno en libertad; 2.°, haciendo llegar vapor acuoso al hierro enrojecido; 3.°, descomponiendo el agua por la electricidad. La síntesis del referido cuerpo en el eudiómetro comprueba que se halla compuesto de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno.

(N. del T.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

CAPÍTULO II

EL AGUA SOBRE EL GLOBO

La atmósfera terrestre contiene siempre cierta proporción de vapor de agua. Pero la humedad real del aire no depende absolutamente de la cantidad de vapor acuoso, sino también de su *tensión*. Se sabe, en efecto, que un espacio dado puede contener más ó menos vapor hasta estar saturado de él. En este último caso, la tensión del vapor es al máximum y varía con la temperatura. A 15°, la tensión del vapor es de 12,7 mm. de mercurio. Supongamos ahora que siendo la temperatura del aire 15°, sea la tensión medida del vapor acuoso que contiene 12,5 mm. Es, pues, ligeramente inferior á la que tendría el vapor si fuese saturante; pero cuando la temperatura desciende simplemente de 15 á 14°, donde la tensión del vapor no es ya sino de 11,9 mm., todo el vapor acuoso de la atmósfera no podrá mantenerse en este estado, pues una parte se condensará para que la tensión de la porción que queda sea tan sólo igual á 11,9 mm. Cuando basta un descenso tan pequeño de temperatura para determinar la condensación del agua en vapor se dice que el aire es muy húmedo.

Será, por el contrario, muy seco si siendo la temperatura 20° la tensión del vapor acuoso no alcanza todavía más que 12,5 mm., porque á 20° deberá ser de 17,3 mm. y la temperatura podría descender de 20 á 15° sin que hubiese condensación.

La relación de estas dos tensiones de vapor, la que se mide y la que debería existir si el vapor fuese saturante á la temperatura observada, es lo que se llama estado higrométrico del aire, y los higrómetros son los instrumentos que sirven para determinar estos dos elementos del problema.

El resultado de la condensación del vapor acuoso atmosférico en la proximidad del suelo produce la formación de las nieblas ó nubes cuando esta condensación se produce en las regiones más elevadas. Estos *meteoros acuosos* están constituídos por gotitas muy finas que dan al aire una opacidad mayor ó menor. Se for-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

man siempre que una masa de aire, ya próxima á su punto de saturación, se somete al enfriamiento, cuando, por ejemplo, un viento cálido y húmedo sopla en regiones sometidas anteriormente al frío.

Cuando una niebla está muy cerca del suelo se observa que su temperatura puede descender muy bien por bajo de cero sin que se congele el agua. Es un fenómeno de *sobrefusión*, de que ofrece la física numerosos ejemplos. Pero si hay en la niebla cuerpos sólidos, cesa la sobrefusión y el agua condensada cristaliza en su superficie, formando una capa de *escarcha*.

El rocío y la helada blanca son dos fenómenos del mismo orden, que consisten en la condensación del vapor acuoso por el terreno cuando éste desprende por radiación una parte de su calor, que toma entonces de las capas de aire enfriándolas.

Cuando una nube cargada de vapor acuoso, y que proceda de países cálidos, llega á un clima enfriado por un viento seco y que proceda de la tierra, se condensa esta nube y da origen á gotas que, cayendo por su propio peso, se engruesan en su caída y de este modo dan origen á la lluvia. En cuanto á las lluvias súbitas de tempestad, se deben de ordinario á nubes muy cargadas de vapor que encuentran verticalmente otras formadas de agujitas de hielo que determinan su condensación.

La presencia del vapor acuoso en el aire y sus variaciones explican muchos hechos relativos á la meteorología. A consecuencia del calor específico del agua y su fuerte calor de vaporización el vapor atmosférico absorbe los rayos solares, que producirían un calor excesivo y restituyen poco á poco este calor condensándose. Del mismo modo impide la radiación demasiado activa de la superficie terrestre y le restituye el calor perdido. La superficie de los mares, calentada por los rayos solares, se transforma en vapor que viene á condensarse en las partes más frías por una verdadera destilación, transportando de este modo el calor y la humedad, es decir, las condiciones de vida, á los climas menos favorecidos. La diferencia entre los climas marítimos casi constantes, el invierno y el estío, y los climas continentales, extremados en ambas estaciones, hace resaltar perfectamente el importante papel de regulador que desempeña el vapor acuoso, gracias á sus propiedades físicas.

El agua de las lluvias se divide en la superficie del suelo en tres porciones: una considerable sometida á la evaporación, que restituye á la atmósfera una parte de su humedad; otra segunda

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

parte produce en la superficie acciones de arrastre y de erosión, sobre todo en las regiones donde el subsuelo impermeable no permite las filtraciones. Esta acción desnivela los vertientes, arrastra en la corriente de agua depósitos movibles ó los abandona en las rampas. Por último, si el desnivel del terreno es bastante fuerte, las *aguas salvajes*, como suelen llamarse, deterioran profundamente el terreno. A esta acción hay que atribuir las *pirámides encantadas* de diversas localidades, agujas verticales que habiendo resistido á la erosión próxima llevan generalmente en su vértice una piedra arcba que les ha libertado del comienzo del deterioro. Es también lo que sucede cuando al retraerse la arcilla por la desecación se fracciona en prismas, en que las aguas salvajes aumentan las hendiduras producidas.

Cuando estas aguas pluviales se reunen en determinado volumen en regiones accidentadas dan origen á torrentes, cuyo carácter principal es el extraordinario cambio de régimen, según sea la estación seca ó lluviosa. En este último caso, el enorme volumen de las aguas, deslizándose por rápidas pendientes, determina poderosos efectos mecánicos. Tal es el caso de la mayor parte de los torrentes de los Alpes, sobre todo desde que la dislocación de las pendientes ha entregado el terreno á la influencia de las aguas torrenciales. Las ruinas causadas de este modo han producido la esterilidad y despoblación de numerosas regiones de los Alpes meridionales.

Los torrentes no son nunca, al menos cuando se entregan á sí mismos, más que instrumentos temporales de erosión. Poco á poco su línea vertical se inclina y regulariza por los materiales acumulados, viene la estabilidad, y si las precipitaciones atmosféricas son suficientes, el torrente se convierte en un verdadero río. Este es también susceptible de acciones mecánicas importantes y tiende á un estado de equilibrio, donde sus aguas tienen una pendiente mínima, su lecho va ahondándose y las paredes destruyéndose hasta que la anchura sea suficiente para contener el volumen máximo de las aguas en caso de crecida. Como el volumen de las aguas en tiempo normal es mucho menor, se utiliza tan sólo una parte del lecho y el río vaga, describiendo curvas sinuosas y variables consecutivas al trabajo de aluvión que se realiza, produciéndose superficies cóncavas y convexas, según tienen lugar las acumulaciones de materiales.

El trabajo de erosión así realizado se mide por los materiales transportados en cantidades enormes, por los lavados permanen-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tes ó momentáneos y las cascadas que se forman en el transcurso. Pero su expresión más notable se encuent.a en el hueco de las gargantas profundas, en cuyo fondo se desliza todo el río, tal como se hallan en el curso del Tarn, en Francia, y sobre todo en California, donde los remolinos del Colorado constituyen uno de los fenómenos naturales más bellos que pueden presentarse. La región de Causses, en Francia, constituída por calizas en estratos horizontales con profundas hendiduras, ofrecen á las aguas corrientes un sitio muy propio para este trabajo de erosión.

El transporte de las arenas, guijarros y cantos rodados, aluviones y légamos, constituye de igual modo uno de los términos del trabajo de las corrientes de agua. Concurren las dos acciones, una llenando los huecos y otra destruyendo las elevaciones á una especie de equilibrio sobre un suelo de pendiente uniforme, modificando alguna vez de un modo considerable el aspecto geológico anterior del suelo.

La tercera porción de las aguas atmosféricas es la que se infiltra en el suelo en los puntos permeables, dando origen á mesetas de infiltración que se traducen por manantiales. Estas mesetas son paralelas á la dirección de las capas profundas que las encajan y reproducen también de un modo aproximado el relieve exterior del suelo. No son, por tanto, como podría creerse, horizontales. En todos los puntos en que la superficie exterior se ha desmoronado, formando erosiones, la meseta ocasionada forma en ese espacio filtraciones ó manantiales, mientras que se levanta en los sitios correspondientes á los puntos que separan las partes llanas. Este hecho explica que los pozos abiertos en la orilla de un extenso valle tienen una altura de agua tanto menor cuanto más cerca se hallan de la orilla, estando la meseta inclinada oblicuamente hacia el fondo del valle.

En los terrenos muy permeables, como la Champaña, los manantiales no aparecen jamás sino en los puntos en que el fondo del valle corta la meseta subterránea, y los costados calizos y desnudos de las colinas contrastan entonces vivamente con el fondo húmedo y cenagoso de los valles.

Por último, las aguas de infiltración pueden formar en el subsuelo corrientes subterráneas, ya sea la meseta irregular, como en los terrenos arenosos, ya el curso de estas aguas sea extremadamente irregular y sinuoso, abriéndose paso al fin por hendiduras, atravesando cavernas y abismos, como la llanura de Causses, que ofrece de esto notables ejemplos.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Un caso que presentan frecuentemente las aguas de infiltración es la formación de una cascada constituída por una capa impermeable, á cuyo largo tiene lugar la penetración en el suelo, en el punto de enrase de esta capa. La cascada de agua tiende entonces á volver á adquirir el nivel donde se ha filtrado y empuja cuando se ahueca el suelo hasta encontrar su superficie. Se produce entonces un manantial artificial, que lleva el nombre de pozo artesiano. Su formación es bastante variable. Sólo se puede establecer un número limitado de ellos en la misma cascada subterránea, y están sujetos á la cantidad, siempre escasa, de las aguas pluviales que se filtran. París posee cuatro de éstos, alcanzando profundidades de 600 á 700 metros (1).

Al estudio de las aguas filtradas se refiere toda una serie de fenómenos que ha dado origen á las fuentes termominerales y que tienen con el volcanismo relaciones más ó menos lejanas. Los volcanes, en efecto, no limitan su actividad á la emisión de las lavas y de los detritus. Mucho tiempo después de las erupciones se desprende todavía del cráter, primero vapor de agua y gases sulfurosos, después ácido carbónico é hidrocarburos. Las primeras emanaciones constituyen las *solfataras* y los *geysers;* las segundas están representadas por *respiraderos* y *mofetas*, que caracterizan la última fase de actividad del volcán.

Por último, las fuentes termales ó termominerales, si arrastran todavía la influencia de la energía calorífica intensa, aparecen alguna vez casi independientes, y por el contrario, en los fenómenos de que acabamos de ocuparnos, la fuerza elástica de los gases y vapores no hace allí más que un papel secundario ó casi nulo.

Las *solfataras* se presentan en casi todos los volcanes, y consisten en un desprendimiento de vapor acuoso mezclado con hidró-

(1) Se da el nombre de pozo artesiano á los orificios de unos 20 centímetros de diámetro practicados en sentido vertical, cortando las capas del subsuelo hasta encontrar una permeable que tenga una corriente de agua con suficiente presión para elevarse y salir al exterior. En España se han hecho algunos trabajos en este sentido. En la provincia de Albacete y en la de Murcia; en Alcalá de Chisvert, el geólogo Sr. Vilanova en 1877; en el término de Játiva, y en Madrid se ensayó en varias épocas, una hacia los años 1852 ó 1853, en la calle de Espoz y Mina, en el sitio que hoy ocupa el Bazar X, cuando era el referido edificio propiedad del Sr Mateu. También tengo entendido que se hicieron algunos años antes, en Madrid, trabajos en este sentido en la plaza del Rey, hacia su parte media No pudo conseguirse en la mayor parte de estos casos resultado alguno positivo por las muchas dificultades que hay que vencer en tales empresas. *(N. del T.)*

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

geno sulfurado ó anhidrido sulfuroso. Además de las de Italia y Sicilia, que se convierten en yacimientos considerables de azufre, se conocen algunas muy notables en Chile, islas de la Sonda y el Cáucaso.

Los *geysers* ó manantiales que arrojan agua con intermitencia están unidos íntimamente á las *solfataras*. Consisten en un desprendimiento de anhidrido sulfuroso ahogado en una enorme cantidad de agua líquida ó en vapor, y en un depósito de sílice hidratada ó geiserita al rededor de la boca de emisión. Los *geysers* de Islandia, de Nueva Zelanda y de Yellowstone en las Montañas Rocosas son los más célebres de estos curiosos fenómenos. Los primeros aparecen en pleno camino de desaparición, sus erupciones han disminuído ya en frecuencia y en importancia.

La brusca proyección de las aguas del *geyser*, en una columna que puede alcanzar 60 metros, parece debida á que el agua caliente, llegando á la base de la chimenea vertical de la fuente impulsora, encuentra elevándose una zona donde se sobrecalienta; después un poco más arriba otra zona donde la temperatura es menos alta y el agua se reduce instantáneamente á vapor, determinando la proyección brusca de la columna que la sobrepone. Es, pues, la elevación local de la temperatura en un punto dado de la chimenea vertical lo que caracteriza el *geyser* y le distingue de los manantiales calientes que no arrojan agua.

La sílice parece existir en las aguas de los *geysers* al estado de silicatos alcalinos y depositarse, porque el álcali de estas sales es saturado progresivamente por los gases ácidos, sulfuroso y clorhídrico que se desprenden con el agua caliente.

A continuación de los *geysers* se colocan otras manifestaciones volcánicas menos activas todavía, de las que los ejemplos más notables los presentan los *suffioni* de Toscana, manantial importante de ácido bórico. Son chorros de vapor que salen de las hendiduras del suelo á una temperatura de 105 á 110°, con frecuencia enérgicos, y cuya agua de condensación forma los *lugoni*, ricos en ácido bórico, en azufre y en la variedad translúcida de yeso que constituye el alabastro. Existen también mezclados con el vapor acuoso de los *suffioni* anhidrido carbónico é hidrógeno sulfurado.

Al lado de los *suffioni* se colocan las *salsas* ó volcanes de cieno, de donde sale un agua fría, algo salada, cargada con frecuencia de petróleo y gases inflamables. Los más notables son los del

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Cáucaso, donde se explota activamente el petróleo que se desprende de ellos.

El petróleo acompaña con mucha frecuencia á la sal en las aguas subterráneas. Así sucede en los países clásicos de este combustible líquido, como en los Estados Unidos y el Cáucaso, de igual modo que en China. Es probable que haya que colocar en esta categoría de las *salsas* bituminosas y saladas el célebre lago Asfaltite ó mar Muerto, tan notable por su considerable riqueza en minerales disueltos y cuyo nivel está actualmente, á consecuencia de la evaporación activa que experimenta, cerca de 400 metros por bajo del Mediterráneo. El agua del mar Muerto contiene, en efecto, dos veces más sal marina que el Mediterráneo, todavía más cloruro de magnesio y sobre todo una cantidad de bromo que llega á 7 gramos por litro. En su superficie se encuentran alguna vez lagos de betún, y su composición, desigual según los puntos que se consideren, indica que hay desprendimientos gaseosos ó líquidos por bajo de su nivel.

Por último, las postreras manifestaciones volcánicas aparentes se traducen por emanaciones de gas carbónico, ya solas, como en la célebre gruta del perro, cerca de Nápoles, en algunas grutas de la Auvernia, en el valle de la Muerte, en Java, ó con más frecuencia acompañado de manantiales calientes, como se observa en la región del Yellowstone, en las Montañas Rocosas, en la isla volcánica de San Pablo, en medio del Océano índico y en algunas fuentes impulsoras en Alemania, como en Nauheim.

El segundo orden de hechos que ahora tenemos que examinar es el relativo á las fuentes termales que traducen de modo muy indirecto la actividad calorífica interna, aunque unidos á ellas de una manera manifiesta. Cuando los manantiales ordinarios tienen una temperatura de una constancia notable, expresan la media de las temperaturas del sitio en que emergen, las fuentes termales adquieren una temperatura superior y contienen en disolución cantidades considerables de sustancias. Además emergen, no ya en la unión de las capas permeables é impermeables, sino por hendiduras de la corteza terrestre, y en general presentan una salida constante, como si cayeran de mesetas subterráneas desconocidas, sustraídas á las variaciones meteorológicas y que hubieran penetrado á grandes profundidades á consecuencia de lo resquebrajado del terreno.

Su relación con los fenómenos volcánicos no puede establecerse; sin embargo, se observan siempre en las líneas de la frac-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tura del suelo debidas á los grandes movimientos de la corteza terrestre.

Según las materias que contienen en disolución, se distinguen las siguientes variedades de ellos:

Manantiales alcalinos, donde predomina el bicarbonato de sosa.

Manantiales salinos, que contienen sal marina, sulfatos de sosa y magnesia.

Manantiales sulfurosos que desprenden hidrógeno sulfurado, que contienen en disolución este mismo gas, acompañado ó no de sulfuros alcalinos.

Manantiales ferruginosos, calizos, silíceos, acídulos ó gaseosos.

Los manantiales sulfurosos contienen con frecuencia materias orgánicas, *glerina* ó *baregina*, que parecen proceder de las bacterias que viven en estas aguas á pesar de su elevada temperatura.

El anhidrido carbónico existe en la mayor parte de las aguas alcalinas, de que las aguas de Vichy ofrecen un ejemplo excelente. Es uno de los principales elementos de las aguas aciduladas, que deben evidentemente á las emanaciones volcánicas, parecidas á las *mofetas* que hemos examinado.

Los manantiales de Vichy son los que mejor demuestran el origen de las aguas termales. Se presentan en grupos á lo largo de las hendiduras del suelo, exactamente paralelas, que en épocas anteriores parece que han dado paso á las rocas eruptivas de la región. Hay desprendimientos muy numerosos de anhidrido carbónico en muchos puntos de los alrededores, en las orillas del Allier, y la mezcla de las aguas de infiltración de la superficie con la cascada caliente que sube da origen á numerosos manantiales de temperatura y composición variables. Se ha encontrado cerca de 500 metros bajo toda la planicie de Forez una cascada de agua caliente de la misma composición, y de que son tributarias, si no las aguas de Vichy, al menos las de Saint-Galmier y Montbrison.

La proporción de anhidrido carbónico que contienen les permite disolver en abundancia la caliza que abandonan en el punto de emergencia, formando depósitos cuyo ejemplo más curioso es el de la roca de los Celestinos. Se pueden citar en el mismo orden de ideas otros muchos manantiales incrustantes, ya en Auvernia (Saint-Allyre), ya en Italia, donde dan origen á los *travertinos*, bien conocidos, como los de Tívoli, roca alguna vez compacta, otras veces cavernosa y ligera, pero que siempre contiene

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

una cantidad notable de detritus vegetales englobados. Los manantiales de Hammam-Mes-Khoutini, en la provincia de Constantina, y los de los antiguos baños de Hierópolis, cerca de Esmirna, ocasionan depósitos parecidos.

Independientemente de las reacciones propias de las aguas termales, gracias á su elevada temperatura y al anhidrido carbónico que contienen, hay otras menos conocidas, pero todas tan notables, que demuestran el papel del agua en la formación de algunos yacimientos minerales.

Las aguas de Plombières, que emergen á temperaturas variables entre 15, 30 y 70°, contienen casi todas un hidrosilicato de alúmina que les da un aspecto jabonoso, y proceden verosímilmente de la descomposición de las masas silicatadas profundas que atraviesan. Han ejercido una acción análoga sobre los ladrillos y el cemento, produciendo los conductos por los que los romanos las habían tomado y han formado á expensas de sus bases alcalinas silicatos hidratados con los materiales en cuestión.

En los manantiales de Bourbonne-les-Bains, que datan de la misma época, se observa que arrojan, sin duda á manera de exvotos, medallitas de diversos metales, sobre todo de bronce. De aquí resulta, por la influencia de las sales de estas aguas, continuada durante muchos siglos, una gran variedad de sustancias minerales, que ofrecen en su disposición una gran analogía con los minerales de los filones. De estos datos y otros varios, acompañados de observaciones, es de donde se ha podido, por decirlo así, formar idea de la constitución de los filones de cinabrio en condiciones análogas, y parece que prueban que no hay necesidad de invocar, para la explicación de muchcs yacimientos metalíferos, ni una fuerte presión ni una temperatura muy elevada, y que las reacciones químicas realizadas en el seno de algunas aguas termales han podido ser suficientes para originarlos.

Formados por las aguas corrientes ó de infiltración, vienen á salir en el fondo de los valles, produciendo grandes caudales de agua y acciones mecánicas importantes. Hemos visto las modificaciones del terreno producidas por los primeros, y las segundas se manifiestan por grandes depósitos, constituyendo los deltas.

Estos no se forman sino en la embocadura de los ríos, donde se producen siempre que una corriente de agua experimenta una brusca disminución en la velocidad por un repentino aumento en anchura, cuando atraviesa por ejemplo un lago. Los elementos rodados, aportados por las aguas, no estando ya some-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tidos á la fuerza de la corriente, caen verticalmente y forman poco á poco una serie de muros sucesivos, cuyo radio va creciendo al mismo tiempo que la altura y la pendiente y concluyen por emerger, aumentando el nivel del valle donde fluye la corriente de agua.

Las irregularidades de la costa en que desembocan los ríos son picos cuya forma resulta del doble trabajo del mar y de la corriente de agua, que se han formado en el momento en que el río adquiría un volumen de agua mayor en una pendiente más rápida. Cuando se adquiere este equilibrio, las materias sólidas aportadas por el río, no habiendo sido arrastradas por la velocidad de su corriente, se depositan en condiciones variables, que dependen principalmente de la acción marina. La proporción de légamo arrastrado por las aguas de un río alcanza cifras muy variables. Rara vez es menos de 1/100.000; el Ganges, en sus grandes crecidas, acarrea hasta 1/500, y en tiempo ordinario 1/1.000. Cuando el mar en que desemboca el río presenta mareas, los légamos son arrastrados por el agua del mar, pero no quedan allí en suspensión, y en este líquido, clarificándose mucho más pronto que el agua dulce, tiene lugar la acumulación, principalmente en el punto en que se establece el equilibrio entre la fuerza de la corriente y la del mar. Como este punto varía con la hora de las mareas y su energía, el depósito es esencialmente móvil y forma en la entrada de los ríos cenagosos una especie de dique sumergido ó *barra*, que hace difícil el acceso á él. Así es que las barras que obstruyen los pasos del Mississipí llegan alguna vez á 4 metros por bajo del nivel del mar, cuando la profundidad normal es de 30 metros. Otras veces la barra no es sensible sino en la baja marea y permite el acceso de navíos cuando el mar está alto.

Los surcos constituyen alguna vez verdaderos valles submarinos, continuando la pendiente del río y atestiguando de este modo su vaciado anterior á la inmersión marina del río.

Cuando el juego de las mareas es poco considerable ó nulo y no hay corrientes en sentido opuesto, los depósitos se efectúan por un mecanismo muy distinto. Se llena el surco poco á poco por la formación de un delta, análogo al de los lagos. Se forma desde luego un cordón, detrás del cual las aguas del río, vertiéndose á través de un lago sin profundidad, dejan depositar sus sedimentos.

De este modo ya puede continuar el fenómeno sobre más am-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

plias bases. Teniendo en adelante un lecho el río, los aluviones que aporta se dirigen más allá y el delta marino empieza á formarse de trecho en trecho, aumentándose de un modo regular por la acumulación de légamos si la fuerza de las turbonadas y de las corrientes; no produce allí una turbación mayor. El Nilo es un ejemplo de la acumulación de tierras; su delta es un extenso triángulo, cuyo vértice está en el Cairo y cuya base semicircular se extiende desde Alejandría á Port-Said. El Ródano, el Po y el Danubio son, por el contrario, excelentes tipos de deltas marinos.

Para terminar, digamos algunas palabras sobre la acción de las aguas corrientes: que los diez y nueve principales grandes ríos del globo, con un caudal total de 3.600 kilómetros cúbicos anuales, llevan al mar una cantidad de materias sólidas cuya proporción es de 38/100.000 de su volumen. Aplicando esta base á la masa derramada por todas las corrientes de agua, se llega á un contingente anual en el océano de 10 kilómetros cúbicos próximamente. Este transporte de materias sustraídas al continente da por resultado llenar poco á poco los espacios marinos y nivelar los espacios continentales; se ha llegado á suponer que un período de 7 millones de años podría bastar para que desapareciese toda la tierra firme. Para ser lo menos hipotéticos posible, estas cifras sólo dan una idea del poder mecánico del agente que estudiamos. La acción química de las aguas continentales es también un poderoso agente de modificación de los terrenos que atraviesan, manifestándose de una parte por un poder disolvente y de otra por efectos de reconstrucción

El agua pura no tiene acción disolvente sino sobre algunas rocas, al menos de un modo notable. Así es que el carbonato de cal no se disuelve sino en 50.000 partes de agua pura y el silicato de alúmina exige 200.000. La acción geológica del agua pura, considerada bajo el punto de vista de las modificaciones que es capaz de operar, será por tanto muy débil, si es única. Los resultados más característicos se dirigen sobre los yacimientos de sal gemma, que la disuelven cuando éstos no están suficientemente protegidos por las arcillas. Los manantiales salados son el resultado de esta disolucióu. El sulfato de cal ó yeso, que se disuelve en 460 partes de agua pura, puede modificarse de una manera notable en sus yacimientos por la acción disolvente del agua.

Pero el poder químico del agua se aumenta de un modo considerable por los gases que tiene en disolución y por los fenó-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

menos de hidratación que ejerce sobre muchas rocas, haciéndolas más solubles. El yeso anhidro ó anhidrita se transforma en yeso ordinario; los minerales de hierro se transforman en limonita hidratada, y el primer mineral sobre todo puede provocar elevaciones seguidas de desprendimientos, por el aumento de volumen que le hace experimentar su transformación.

El agua de lluvia contiene en disolución, como ya hemos visto, agua y anhidrido carbónico, y la cantidad de este último gas aumenta todavía cuando el agua, al atravesar el suelo, encuentra materias orgánicas. En las orillas del mar hay que agregar cloruro sódico á esta composición.

Cuando se infiltra en las rocas porosas abandona el agua una gran parte del gas que tenía en disolución, aun cuando estos materiales no sean susceptibles de experimentar una acción química apreciable. Con mayor razón debe tener lugar este acto en presencia de sustancias oxidables ó sobre las que posee acción el anhidrido carbónico.

Esta última es considerable, y tendremos varias veces ocasión de hablar de ella. El anhidrido carbónico disuelve la caliza, transformándola en bicarbonato soluble. El agua cargada de este gas descompone, á la temperatura ordinaria, los silicatos de potasa, sosa, cal, hierro y manganeso, muy abundantes en las rocas no calcáreas. Hidratación, oxidación y disolución son los actos que resumen el poder químico del agua de lluvia.

Los fenómenos de hidratación que se dirigen al yeso producen, como hemos visto, resquebrajaduras y abultamientos del suelo, por el aumento de volumen de la anhidrita. Los fenómenos de oxidación se ejercen particularmente sobre los minerales de hierro. Producen en la superficie de los yacimientos una costra de sesquióxido hidratado y sobreoxidan los elementos ferruginosos de las rocas, produciendo la rubefacción y ennegrecimiento de éstas. Esta acción puede prolongarse á profundidad mayor para dar origen, á expensas de los detritus basálticos de los países tropicales, á importantes depósitos de *laterita*, sesquióxidos hidratados, que alcanzan hasta 60 milímetros de espesor. La misma acción oxidante se produce en la mayor parte de las rocas calcáreas, aun las más puras, que siempre contienen cierta proporción de elementos ferruginosos.

La acción del agua cargada de ácido carbónico se ejerce sobre las rocas que contienen silicatos básicos, con formación de carbonatos alcalinos y térreos y separación de silicato de alúmina.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Esta importante manera de alteración es lo que se llama *kaolinización*, porque uno de los silicatos aluminosos formados de esta suerte es análogo al kaolín, cuya importancia industrial se conoce.

Las rocas graníticas sobre todo son la base de esta transformación; están formadas de una pasta cristalina de cuarzo ó sílice pura, de mica en pajitas blancas ó negras y de feldespatos diversos, que consisten en silicatos dobles de alúmina y potasa, sosa, cal y hierro. Se concibe que en los feldespatos, siendo transformados en kaolín, el elemento silíceo puro, constituído por el cuarzo, se aisle formando granos no atacados, que se desagregan, produciendo *arenas* ó granos gruesos. Así es como la simple acción de las aguas meteóricas concluye con los granitos más duros, que se consideran como perfectamente inalterables en razón á su dureza. Es fácil darse cuenta, en todos los agrupamientos de rocas cristalinas antiguas, de estos poderosos efectos. Puede verse en la Meseta Central, en el trayecto de una rama de caminos de hierro, por ejemplo, en que la roca se haya puesto muy al descubierto, que se opera esta transformación en 20 y 30 metros de profundidad. El granito de Vire, en Bretaña, se transforma en arena á muchos metros de espesor, á pesar de su gran compacidad y de la superficie de algunas rocas graníticas de estructura hojosa, como los *gneiss* y los *micasquistos*, tan abundantes en la Meseta Central, se reducen al estado de cieno fuertemente coloreado.

Esta alteración del granito es también la obra química del agua, que no se produce en los climas uniformes y secos, como el Egipto, mientras que tiene lugar muy rápidamente, auxiliada con la potencia mecánica de la helada, en los climas fríos y húmedos del Norte.

Las rocas arcillosas estratificadas ó *esquistos*, que acompañan los depósitos hulliferos, expuestas al aire, se transforman rápidamente en tierras movibles ó en arcilla plástica por las mismas acciones.

Cuando una roca calcárea contiene cierta porción de magnesia, el carbonato cálcico, más soluble que el segundo, lo arrastran con más rapidez las aguas carbónicas y la roca se enriquece paulatinamente en carbonato magnésico ó *dolomía*, convirtiéndose en cavernosa.

De esta suerte, cargadas de sustancias disueltas las aguas meteóricas, cuando salen al aire libre después de un camino subterráneo abandonan el exceso de ácido carbónico que poseen. La

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

desaparición de este cuerpo, que mantenía disueltas la mayor parte de las sustancias, determina la precipitación de éstas. Así se forman depósitos, primero ferruginosos, fáciles de observar en la proximidad de los manantiales mineralizados de esta suerte, después calizos, dando origen á *tobas* ligeras y cavernosas, formadas sobre todo en contacto de los vegetales, que intervienen apoderándose del ácido carbónico de éstas. Igualmente, por el desprendimiento del ácido carbónico es como se producen en las grutas y en las cavernas los depósitos conocidos con el nombre de estalactitas en el techo y estalagmitas en el suelo de estas cavidades, formando caprichosas y bellas combinaciones. Son infiltraciones por las hendiduras de la bóveda, donde, cayendo el agua gota á gota en una ancha superficie, se despoja de su gas y produce la precipitación de la caliza en los puntos en que se fija.

Parece que las aguas calizas de los ríos de Suiza, atravesando los lagos situados en su curso, se despojan en ellos, por una verdadera precipitación química, de su carbonato de cal, formando un depósito de caliza lacustre ó *blanco de los lagos*.

La influencia que ejercen las aguas continentales en el globo y sus habitantes es muy escasa al lado de la acción de los mares. Esta es igualmente doble: física por el poder de las olas y las mareas, por la regulación térmica que semejante masa de agua ejerce sobre la superficie y la atmósfera terrestres, por los vientos y meteoros acuosos de que es la causa inicial. La acción química, en razón de la actividad disolvente del agua del mar, de los depósitos á que da lugar su evaporación, es igualmente considerable.

La acción de las olas constituye un agente dinámico, cuya fuerza puede valuarse de 3.000 á 5.000 kilogramos por metro cuadrado. Se aumenta por el hecho de que replegándose verticalmente contra un obstáculo, proyectan allí las olas una verdadera metralla pétrea, que disgrega las rocas poco consistentes, levanta la base de los acantilados, ahuecando las cavidades, hasta que se desploman faltas de base arrastradas por su peso y fraccionadas en gruesos pedazos. Este fenómeno se marca mucho en las costas madrepóricas del mar Rojo, y principalmente en los islotes aislados, que afectan en la baja marea la forma de un hongo. Cuando la oleada se introduce bajo una bóveda de rocas limitada, formada por este mecanismo, la presión del agua sobre el aire contenido en el vértice obliga á este aire á salir á través

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de las hendiduras de la roca, produciendo una violenta corriente, como la que sale de una tobera de forja.

Las orillas, por la acción destructora de la ola, se hacen hacia atrás y se modifican incesantemente. Por lo demás, esta acción está compensada por la formación de aparatos debidos á la acumulación de los materiales separados de la orilla, y que son guijarros, arenas, piedras, fango, etc. Las huellas más notables de estas formaciones son los cordones litorales y las lagunas que con frecuencia resultan, como acontece en las orillas del Mediterráneo y del Báltico. También sucede de igual modo con los depósitos arenosos de las playas, acompañados alguna vez de detritus calcáreos y orgánicos, que permiten utilizarlos como una variedad de abono. La finura de los materiales depositados aumenta con la profundidad, y á la zona de las arenas que se observa en la región donde la acción de la ola se siente débilmente sucede la zona del cieno ó de los légamos, azulados, verdes ó rojizos en los mares interiores, de naturaleza coraloidea ó volcánica en las regiones oceánicas.

El mar recibe del sol gran cantidad de calor, que distribuye en seguida, ya por las corrientes que vienen á lo largo de las costas y suavizan el clima de los continentes, ya por los vientos que se cargan de vapores tibios. Es el gran depósito y el único origen de las aguas terrestres, que proceden de él por una verdadera destilación.

Pero sus propiedades químicas no influyen menos en sus funciones. El agua del mar posee gran uniformidad en su composición. Excepto en las regiones polares, donde sobrenada el agua dulce procedente de los hielos, ó de algunos mares encerrados, donde el aflujo de los ríos es mayor que la evaporación, puede asignársele al agua del mar un valor medio de 33 á 37 partes de sales disueltas por 1.000 de agua. La sal marina forma las 4/5 partes de ellas, y el resto consiste en cloruros de potasio y magnesio, sulfatos de magnesia y cal, carbonato de cal y bromuro de magnesio. Hay también, por último, iodo é indicios de plata y de cobre. Estas sales dan al agua del mar propiedades muy especiales. A la presión ordinaria el agua del mar no hierve á 100°, sino más bien á 105 ó 107°; su densidad varía de 1,014 á 1,029. Del mismo modo, su congelación se hace á una temperatura más baja, casi á 3° por bajo de cero, y el máximum de densidad que presentaba el agua dulce á 4°,10 se refiere en el caso del agua del mar á —3°,67; es decir, un punto más bajo que el de su con-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

gelación. Esta propiedad es de una gran importancia. No hay que temer, como en el caso del agua dulce, la congelación que se produce en la superficie, gracias al máximum de densidad, estando el fondo siempre á 4°; esta propiedad del agua dulce no tendría, pues, ya razón de ser. El enfriamiento regular del agua del mar produce el resultado de llevar siempre á la superficie las aguas más calientes, que transmiten en seguida á la tierra una parte de este calor. Las sales disueltas en el agua parecen desempeñar además un papel de los más importantes en la formación de las corrientes marinas. Estas se deben á la desigual densidad existente entre las aguas dulces procedentes de la condensación del vapor acuoso y las aguas que la evaporación ha salado de antemano. Haciéndose la evaporación y condensación en sitios muy distintos desde el punto de vista de la cantidad de calor recibido, se establece entre ellos una corriente. Evidentemente no podría producirse nada parecido en el agua dulce si la evaporación parcial deja siempre un resultado análogo á la misma y cuya densidad no aumenta por este hecho. Estos dos fenómenos tan sencillos, cambio del máximum de densidad y aumento de la densidad por evaporación, debidos uno y otro á la presencia de una gran proporción de sales, bastan, pues, para explicar la circulación vertical y horizontal que se realiza en los mares. Lo más frecuente es que esas corrientes no se aprecien sino por observaciones precisas; pero hay algunas como el Gulf Stream, de tal modo marcadas, que difieren aun por el color de sus aguas y el grado de salazón. Esta corriente, la más célebre y mejor observada de todas, es un verdadero río, cuyo rigen está en el golfo de Méjico y en la embocadura del Océano Artico. Su primer origen se halla en las costas francesas, en el golfo de Gascuña; sigue después al Africa, atraviesa el Atlántico y se bifurca á la altura del Brasil, siguiendo una de las ramas la costa para introducirse en el mar de las Antillas y dirigiéndose la otra al Sur.

La acción química del mar se manifiesta principalmente por los depósitos á que da lugar su evaporación. Pero sustrae también por acción directa cierto número de sustancias á sus orillas, gracias al auxilio del ácido carbónico, que contiene treinta veces más que el agua dulce. Si á estos fenómenos propios de la disolución se agrega lo que aportan las aguas terrestres que hemos examinado anteriormente, se ve que el mar, recibiendo sin cesar materias disueltas, se concentraría indefinidamente si no intervinie-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

sen algunos motivos de equilibrio. En primera línea de estas causas se coloca la evaporación.

Este fenómeno produce la precipitación de algunas sustancias poco solubles que no pueden permanecer en solución cuando el agua se concentra. El sulfato de cal es la primera sal que se deposita en estas condiciones, precedidas todavía de algo de carbonato de cal y óxido de hierro aun más insolubles. La sal marina se deposita en seguida, después el sulfato de magnesia y el cloruro magnésico.

Esta concentración, provocada artificialmente, origina los pantanos salados, acerca de cuyos detalles remitimos al lector á nuestro anterior volumen, que versa sobre la sal. Pero se observa también en depósitos naturales, donde la afluencia de agua es insuficiente para compensar el efecto de la evaporación. Uno de los más notables es el Kara-Boghaz, unido al mar Caspio por un estrecho canal, donde las aguas de este mar han alcanzado tal concentración que no puede vivir en ellas animal alguno.

Con frecuencia se observa la precipitación del carbonato de cal cuando el agua del mar se somete á la evaporación rápida en algunas playas en que está cargada de caliza. Esta caliza sirve para unir la arena, detritus de conchas, guijos, etc., de tal suerte, que producen formaciones sólidas. El fenómeno se origina con gran intensidad en el mar de las Antillas, en algunos puntos en que la temperatura del agua alcanza 32°. Si se explota para la construcción la piedra marina, rápidaménte se forma por la precipitación incesante de la caliza.

Es probable que haya necesidad de buscar entre las reacciones químicas, de que son la base, la formación de cierta cantidad de aceite mineral por descomposición, al abrigo del aire, en las aguas muy concentradas, con organismos marinos que vienen á resultar de esta suerte un origen de hidrocarburos.

Por último, debemos mencionar como producto de la acción química de los mares profundos la arcilla roja, dada á conocer en las grandes campañas científicas de exploración que se han realizado en las profundidades oceánicas. Esta arcilla parece formarse con extrema lentitud por la alteración de una toba de origen volcánico que tapizará el fondo del Océano. Contiene numerosos nódulos manganesíferos y tapiza más del 35 por 100 de la superficie de los mares.

Como consecuencia de estas generalidades sobre el agua del mar, debemos hablar del papel que desempeñan en la regulación

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de su composición los organismos que habitan en ella. Los cálculos más aproximados estiman en 900 millones de toneladas la cantidad de calcio arrojada anualmente en el agua del mar bajo la forma de sales por las aguas corrientes. Como los Océanos concluirían por quedar rápidamente saturados con este continuo aflujo de sales cálcicas, es preciso que intervenga una causa para fijar constantemente las cantidades superabundantes de caliza. Otra porción de ésta vuelve á la circulación en el mar por la muerte de los animales y dispersión de su esqueleto calcáreo. La acción reguladora que de este modo se ejerce sobre el agua de los Océanos se debe enteramente á la actividad fisiológica de los organismos marinos.

Por otra parte, esta actividad se manifiesta de otro modo: gran número de estos organismos, como las esponjas, algunas algas, muchos seres inferiores, tienen un esqueleto de sustentación rico en sílice ó formado exclusivamente por sílice pura. Como no puede disolverse en las aguas una cantidad de sílice suficiente para este uso, es probable que las partes arcillosas, arrastradas en gran cantidad á los Océanos, sean el origen de ella y descompuestas indirectamente por los organismos.

¿Cómo estas sales calizas y las que contienen sílice pueden asimilárselas los animales marinos? La cuestión no se ha resuelto todavía en todos sus detalles, y sólo podemos dar en este sitio una ligera reseña de las opiniones emitidas.

El agua de mar contiene mucho más sulfato que carbonato de cal. Pero la descomposición del primero de estos cuerpos suministra á los seres vivos, no sólo la caliza que necesitan para su esqueleto sólido, sino también el azufre indispensable para la formación de las sustancias albuminoideas. En cuanto á su origen, puede atribuirse sin exageración de igual manera á la acción vital. La reducción de los sulfatos alcalinos y térreos se realiza en los mares muy lentamente, á lo largo de la embocadura de los ríos, cuyas aguas están cargadas de materias orgánicas, y algunas algas la realizan con mucha facilidad. Las sales procedentes de la acción de las aguas sobre la primitiva corteza terrestre han suministrado unas cal y otras ácido sulfúrico, que proceden de los sulfatos alcalinos.

De cualquier modo que sea, la asimilación de la caliza por los organismos parece ser que se realiza por el intermedio de las sales amoniacales. Los mares tropicales contienen dos veces más sales que el mar del Norte, y se sabe que si se adiciona este agua

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

á una solución de sulfato de cal, determina la precipitación de éste al estado de carbonato. Esta opinión se ha confirmado por el hecho de que la fijación de la caliza por los organismos es mucho más activa en los mares calientes.

Por la influencia del cloruro de sodio disuelto parece ser que las aguas del mar dan con las sales amoniacales cloruro amónico y bicarbonato sódico. Este último hace un papel complejo; descompone el sulfato de cal transformándole en carbonato, y su ácido carbónico en exceso puede, como ha comprobado la experiencia, descomponer los cloruros por la influencia de los cuerpos en descomposición. Resultará de aquí ácido clorhídrico que podrá poner en libertad la sílice, actuando sobre los silicatos alcalinos de las partículas arcillosas. La producción del ácido clorhídrico por los organismos no es, pues, una fantasía. El jugo gástrico de los vertebrados superiores le debe su acidez, y en los animales marinos algunos anélidos perforan por este procedimiento las calizas más compactas. El molusco *Dollium gallea* segrega para su defensa grandes cantidades del mismo ácido.

Es probable que las sales calizas y la sílice, producidas de esta suerte en el seno de los organismos, se fijen allí por la acción de los albuminoides. Pero este mecanismo íntimo se sustrae totalmente á nuestras investigaciones, y nos contentaremos tan sólo con apreciar sus resultados, que son considerables.

Los animales invertebrados que tienen un exoesqueleto calcáreo son muy numerosos. Si los crustáceos no pueden concurrir eficazmente á formar depósitos, no sucede lo mismo con los moluscos, cuyos bancos poderosos, como las ostras, almejas, etc., pueden formar grandes depósitos de arenas calizas. Lo mismo sucede con algunas algas, cuya estructura desaparece totalmente en una cubierta caliza, como las coralinas y las melobesias, que llegan á constituir verdaderas capas en algunos puntos.

Estas acciones son poca cosa comparadas á las que ejercen los seres microscópicos de los dos reinos, protozoarios ó algas unicelulares, para la fijación de la caliza y de la sílice. En 160.000 metros cúbicos de légamo, extraídos en 1840 del puerto de Swinmund, en la embocadura del Elba, la tercera parte estaba tan sólo formada de seres microscópicos, cubierta de foraminíferas de lo cual el fondo de los mares está tapizado juntamente con la arcilla roja de que ya hemos hablado y cieno de globigeríneas que contiene de 40 á 95 por 100 de caliza y reconocen el mismo origen. Parecen formarse por una verdadera lluvia de esqueletos

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de foraminíferas, de los géneros Globigerina, Orbulina, Pulvinulina, que caen lentamente después de la muerte del individuo que los habita desde la superficie al fondo. Aunque sus dimensiones se miden con frecuencia por fracciones de milímetro, alcanzan á formar depósitos que se han evaluado en 6 ó 7 milímetros por siglo.

Hay igualmente lodos silíceos, producidos por el mismo mecanismo y con los detritus de los radiolarios, esponjas y diatomeas. Estas últimas algas desempeñan sobre todo un papel importante en la fijación de la sílice, porque se encuentran en todas partes, de preferencia en los mares fríos, y su *talo* monocelular está siempre incrustado de una capa de sílice pura.

La forma más interesante que reviste la actividad de los organismos marinos es la formación de bancos coralíferos, debidos en su mayor parte á seres de muy sencilla organización, cuyo *coral* es uno de los más conocidos. Se sabe que la sustancia así denominada no es otra cosa que la parte central compacta del esqueleto que sostiene un polípero ó una colonia de pólipos. Cada uno de los individuos que forman esta colonia, que tiene el aspecto de una flor delicada, está constituído esencialmente de una boca provista de tentáculos que se continúan con una cavidad única ó saco estomacal. Esta cavidad está dividida en espacios por un gran número de tabiques y consolidado todo ello por formaciones calcáreas, de aspecto exterior de corona ó láminas radiadas. Estos individuos, dispuestos á lo largo de un eje calcáreo común, están reunidos por el mismo tejido y alimentados por el mismo líquido *colonial*.

Su asociación se hace de las maneras más diversas, y resulta de aquí una gran variedad de forma en su esqueleto de sustentación. Algunas colonias cuya capa viviente tiene tan sólo pocos milímetros de superficie no por eso dejan de formar enormes masas que alcanzan hasta 5 metros de diámetro. El edificio muere por su base y crece por su vértice, y el polípero repara con gran facilidad los deterioros que experimenta.

Hay que agregar á los corales, como organismos constructores, los hidrocoraliarios, que se distinguen de aquéllos en que no tienen tabiques calcáreos internos; los briozoarios, que pertenecen á una clase completamente distinta, se aproximan á los gusanos y forman las incrustaciones en la superficie de las masas coralíferas, y, por último, las algas calcáreas. Todos estos organismos cesan de desarrollarse cuando la temperatura del mar

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

desciende por bajo de 20°. Necesitan además un agua muy pura, y las especies de arrecifes no se asocian ya para su construcción por cima de 37 metros de agua próximamente, más allá de cuya profundidad no se encuentran sino especies aisladas.

Los arrecifes son bancos de rocas construídas en la proximidad de la costa. Unos están inmediatamente unidos á ellas, otros se hallan á distancia más ó menos considerable. Unos y otros aumentan, sobre todo en la dimensión de lo ancho, donde tiene lugar principalmente el choque de las olas. Su altura alcanza sobre todo el nivel de la baja mar. A partir de este punto, el arrecife no crece ya en altura y no hace más que reparar sus pérdidas. Los materiales que arroja la ola constantemente sobre él concluyen por levantarle hasta el nivel de los altos mares y establecer después en su borde externo una línea de emergencia, que puede ser asiento de vegetación y encierra cuando menos una laguna interior que va llenándose poco á poco. El efecto último del arrecife puede, pues, traducirse con frecuencia por un aumento notable de la tierra firme.

Existe otra forma de arrecifes aislados en pleno Océano y á los que se da el nombre de atolladeros. Tienen la forma de un cordón estrecho rodeando una laguna. Esta última puede ser un lago tranquilo, ó, por el contrario, comunicar con el mar por uno ó muchos pasos, siendo el anillo incompleto.

La formación de islas ó bancos coralinos, que constituyen la mayor parte de los archipiélagos del Pacífico, se había explicado desde luego por una especie de hundimiento paulatino y gradual del fondo del mar. Por ejemplo, un cono volcánico que sale primero y desaparece poco á poco, se cubre de una faja de corales, estrechándose á medida que desaparecen y produciendo la formación de un banco. Se ha reconocido después que esta teoría, debida á Darwin, se hallaba lejos de poderse aplicar á los hechos reales que se observan. Parece verosímil que la actividad volcánica sea la causa á que se deba que hayan surgido del fondo de los mares los arrecifes y sus diversas desigualdades. Unas han podido mantenerse; otras, arrasadas por las aguas hasta el límite de la actividad mecánica de las olas, han constituído plataformas submarinas, donde se han establecido los corales constructores. Creciendo siempre su borde externo con más rapidez, es natural que los arrecifes así formados adquieran la forma de bancos circulares con laguna central.

De cualquier modo que sea, la edificación de la mayor parte de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

las islas oceánicas, la formación de una barrera continua al rededor de continentes como el de Australia, la conquista lenta del mar por las costas coralinas, como la del mar Rojo, demuestran qué trabajo tan formidable de construcción necesitan completar los animales casi microscópicos y qué parte importante les devuelve el equilibrio de constitución de los mares.

Siempre que las precipitaciones atmosféricas se realizan en una zona donde la temperatura es inferior al cero del termómetro se forma no ya lluvia, sino nieve. La acumulación de estas nieves en ciertos puntos trae como consecuencia de las propiedades del agua sólida que hemos examinado la formación de masas de hielo ó *ventisqueros*, que han desempeñado y desempeñan todavía un papel importante en la física del globo y que debemos examinar para completar el conocimiento del papel del agua en la naturaleza.

Existe, como sabemos, un límite en altura á partir del cual el agua precipitada no puede ya afectar más que la forma sólida. La nieve que cae por cima de este límite es, pues, persistente; las condiciones que influyen en este límite son muy numerosas: abundancia de lluvias, elevaciones del suelo, posición geográfica del terreno, etc.

De cualquier modo que sea, las masas de nieve acumuladas obedecen á su peso, experimentan derrumbamientos ó avalanchas, verdaderos torrentes de nieve, ó ya también apilamientos cuando se reunen en un espacio limitado que les obligue á converger á un punto único de salida. En estas últimas condiciones es como se forman los ventisqueros.

El primer efecto de esta transformación es el *nevado*, masa coherente de nieve á medio fundir, formada de granos más ó menos redondeados, cimentados por gotitas de agua. Si se desciende más por bajo del límite superior de esta masa, se observa que adquiere mayor consistencia hasta pasar al hielo. El peso del metro cúbico de sustancia que pasa de la nieve al hielo aumenta de 85 kilos á 600 para la primera y de 900 á 960 para el hielo. En este momento el campo del *nevado* ha llegado á ser un ventisquero, y el hielo, tomando una densidad cada vez mayor, resulta homogéneo, azulado, semitransparente, guardando la cristalización confusa de la nieve que le ha originado.

El ventisquero resultante de la acumulación de la nieve en una superficie dada, deslizándose por la presión á lo largo de una pendiente, fácil es concebir que su masa irá aumentando indefi-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

nidamente á consecuencia de las anuales nevadas, si otra causa no limita su crecimiento. En realidad, los límites del ventisquero se mantienen constantes mientras no cambian las condiciones del ambiente en la región que ocupan. La nieve que recibe por su vértice, adicionándose á su masa, le hace progresar poco á poco; pero su parte inferior, llegando á una región en que la temperatura es más elevada, se halla sometida á causas de destrucción que la señalan un límite muy marcado. Es necesario, pues, representarse el ventisquero como una verdadera corriente muy lenta, que se mantiene en los mismos límites por la acción de fuerzas opuestas, el aumento por la parte superior y la destrucción por debajo.

Esta idea no es sólo teórica, pues los ventisqueros se hallan realmente animados de movimientos. Los ventisqueros caminan siguiendo las leyes que rigen el movimiento del agua en los ríos, sin que pueda asignárseles otra diferencia que la velocidad infinitamente menor. La proporción de las velocidades es por término medio de 1 á 150.000, y la velocidad del ventisquero alcanza su máximum en estío. Dos influencias solicitan al hielo á descender á lo largo de las pendientes, modelándose sobre las paredes de los valles que llena, la presión de las masas superiores y la curiosa propiedad del *rehelado* de que antes nos ocupamos. Gracias á esto último es como el ventisquero posee una plasticidad suficiente para modelarse á las cavidades que atraviesa; pero esta plasticidad no es tal que no se produzcan resquebrajaduras, ya longitudinales, cuando el hielo está laminado en un sitio estrecho, ya transversales, en forma de ángulo obtuso, cuando la pendiente se hace de pronto más rápida, ya en abanico al frente del ventisquero, cuando el hielo se extiende en un espacio mayor.

El frente de un ventisquero afecta casi siempre la forma convexa, y puede descender por el hecho de una acumulación superior muy activa á límites inferiores, como las plantas de las regiones templadas ó aun cálidas crecen á algunos cientos de metros. El ejemplo lo suministra un ventisquero de Nueva Zelanda, descendiendo hasta 200 metros por bajo del nivel del mar.

La fusión superficial del hielo origina en la superficie diversos accidentes, como arroyos, láminas de piedra, en el sitio en que por la presencia de éstas ha preservado la superficie del ventisquero del calor solar, ó también oquedades debidas á la acción inversa.

Pero los efectos más marcados de los ventisqueros son los fe-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

nómenos de transporte, por los que conducen á las regiones bajas los materiales arrancados del vértice por el deterioro que experimenta por los agentes atmosféricos. Los fragmentos que caen de esta manera sobre el ventisquero los transporta él mismo. Caen, es cierto, en las hendiduras que originan, pero jamás se sumergen más que á una pequeña profundidad y antes que hayan alcanzado el fondo del ventisquero; el movimiento de éste, gracias á la presión mayor en el centro que en los bordes, los arroja lateralmente, de suerte que forman bandas pétreas ó *vedijas* laterales. Estas se funden en una vedija media cuando los ventisqueros se reunen, como lo verifican las corrientes de agua con un ángulo variable. Por último, los materiales transportados por el ventisquero, que llegan á su límite inferior, concluyen por caerse, formando un conjunto transversal de detritus más ó menos marcados, más considerable en los bordes que en el centro, dispersado por las corrientes que afluyen del ventisquero y se designan con el nombre de vedija frontal.

El hielo, comprimiendo con gran fuerza sobre las paredes que le encierran, ejerce en estas paredes, por los fragmentos que transporta, una verdadera acción de pulimento. De aquí resultan estrías de importancia variable según la dureza de los materiales, y con frecuencia un pulimento de las rocas que lo encierran absolutamente característico. El fondo del ventisquero se distingue por la presencia de rocas amontonadas, y frecuentemente por una masa de detritus acumulados en el fondo, estriados y pulimentados, con un légamo fino y arcilloso.

Si el trabajo de erosión de los ventisqueros, como consecuencia de estas acciones mecánicas, puede ser hoy bastante considerable, se concibe que haya sido más en épocas anteriores, donde se ha podido reconstituir su historia y en que parece demostrado que han tenido una extensión tal, que el estado presente no ha sido más que un insignificante recuerdo. El primer argumento lo suministran las variaciones actuales de los ventisqueros, que en el espacio de un siglo han manifestado diversos movimientos en sentido inverso. Otro segundo, de importancia considerable, consiste en las huellas visibles que deja todo ventisquero bajo la forma de fragmentos confusos. El estudio profundo de estas formaciones ha permitido establecer la existencia de un período especial, caracterizado por ventisqueros de una extensión é importancia extraordinarias que existen en regiones variadas del globo y se han formado en el período cuaternario. El valle de Rhône

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

era entonces una gran corriente de hielo que llegaba hasta Lyón, y las masas aisladas conocidas con el nombre de grupos erráticos atestiguan por su volumen y su peso, con frecuencia enormes, el poder de este agente de erosión y de transporte.

Por otra parte, el fenómeno del ventisquero se manifiesta con una amplitud particular en los sitios próximos al polo. Los hielos extendidos en inmensos espacios ocultan todas las elevaciones del terreno, llegan hasta el mar y forman en éste grandes islas flotantes constituídas por hielo.

Por último, hay que tener en cuenta también los efectos que pueden producir los hielos invernales en las corrientes de agua de cierto volumen. El hecho es muy notable en los ríos siberianos, que llegan hasta el fondo, y cuando viene el deshielo á partir de su origen, formando verdaderos ríos naturales, los témpanos del lecho principal, destacándose á su vez, arrastran considerables masas de materiales que el río no ha sido capaz de transportar.

Hemos terminado con el papel físico, químico y mecánico que desempeña el agua en el globo. Nos falta ahora, antes de pasar á sus usos verdaderamente industriales, examinar las condiciones de la vida en su seno y las cualidades que debe poseer para suministrar en el medio en que muchos seres se agitan el agente primordial é indispensable de su existencia.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

CAPÍTULO III

CARACTERES DE LAS AGUAS POTABLES

Desde el punto de vista de su utilidad práctica, pueden dividirse todas las aguas del globo en potables y no potables. Las fuentes mineralizadas, que poseen propiedades demasiado activas para ser objeto de un consumo corriente y jamás sirven de bebida habitual, pueden formar una tercera división.

Las aguas del mar son el tipo de las aguas no potables. No hay ninguna, sin embargo, que posea una fauna y una flora más variada que ellas. Hemos expuesto en los primeros capítulos, á grandes rasgos, en lo que consiste y el trabajo inmenso que realizan algunos de sus habitantes, por ejemplo, los corales. Podemos dejarlo á un lado por el momento y ocuparnos solamente de las aguas meteóricas y continentales, desde el punto de vista de su composición. Comprenden las aguas de lluvia, de nieve y de hielo, las aguas de los ríos y torrentes, de los manantiales, pozos artesianos, pozos comunes, estanques, charcas y pantanos.

Las aguas meteóricas van acompañadas de los principios siguientes: ácido carbónico y las combinaciones azoadas que de ordinario suministran á la atmósfera la combustión, descomposición de los cuerpos y descargas eléctricas; el amoníaco, ácidos nitrosos y nítrico de los compuestos orgánicos mal definidos y al estado de indicios; las sales de agua de mar, cloruros, bromuros, ioduros, sulfatos de sosa, magnesia y cal, y sobre todo el cloruro de sodio que predomina entre las demás.

También pueden encontrarse allí los ácidos sulfuroso y sulfhídrico, sulfúrico, clorhídrico y cloruro de potasio. Hay que añadir á esto numerosas materias pulverulentas, formadas, ya por detritus minerales, ya por restos diversos de seres vivientes, bacterias y sus esporos.

Esta composición compleja varía mucho evidentemente con el estado de la atmósfera. Según que la estación ha sido seca ó lluviosa, se ha recogido el agua al principio ó al fin de una llu-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

via, las estaciones y dirección de los vientos y sitio en que se han recogido las aguas.

La influencia de la localidad se deja sentir principalmente por el amoníaco. La proporción de éste es mayor cerca de las poblaciones, y principalmente en el circuito de éstas, sobre todo en invierno. En el campo es á la inversa esta última influencia, el amoníaco es más abundante en verano. De éste hay menos en el agua de nieve que en el agua de lluvia, y en esta última se encuentra tanto más cuanto más baja es la temperatura y la lluvia cae con mayor lentitud, lo cual es fácil de concebir. La riqueza en amoníaco depende mucho también de la duración de la lluvia; es mayor, por ejemplo, al principio de una segunda lluvia que al fin de la primera.

El amoníaco es con frecuencia bastante abundante para dar al agua de lluvia una reacción alcalina, á pesar de los compuestos oxigenados ácidos de ázoe que la saturan en parte.

El ácido nítrico sigue de ordinario las variaciones del amoníaco en las aguas meteóricas, teniendo límites mucho más elásticos. Mientras que el primer cuerpo varía, por ejemplo, de 1,08 gramo en octubre á 9,65 gramos en diciembre, por metro cúbico, el ácido nítrico varía en el mismo tiempo de 1,84 á 36,32 gramos.

Expresando en ázoe las cantidades de estos cuerpos que reciben los terrenos durante el año, se ve que la cantidad de este elemento es casi doble en los meses lluviosos y fríos.

Es necesario que la relación entre el amoníaco y el ácido nítrico se manifieste siempre al mismo paso. Puede invertirse en totalidad, siendo la cantidad de amoníaco mucho mayor.

La escarcha, las nubes y las nieblas contienen siempre más amoníaco. Así en los Vosgos, el agua de lluvia contiene, según Boussingault, 79 centigramos de amoníaco; la escarcha, de 1 á 6 gramos; el agua de las nubes, 49,7 gramos, ó sea cincuenta veces más. El mismo autor ha encontrado hasta 137 gramos de ese cuerpo en una niebla espesa de París. La nieve reciente, que contiene en el momento de su caída 1,78 gramos, indica una proporción mucho mayor (10,34 gramos) después que ha permanecido treinta y seis horas en el suelo de un jardín. Un kilogramo de granizo acusa la presencia de 3,47 gramos de sal amoníaco.

La proporción de ácido nítrico aumenta en las lluvias de tempestad, mientras que decrece la de amoníaco. Ninguna agua de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

lluvia parece completamente privada de él, y casi siempre se encuentra al menos nitrato de amoníaco.

La presencia en las aguas meteóricas de partículas salinas no es menos constante. Es preciso ver en este caso la consecuencia de que estas aguas son en realidad el residuo de la destilación del agua de mar, y que no sólo se evapora, sino que también se arrastra al estado de polvo líquido al vértice de las olas por los vientos que allí reinan. Por lo demás, es fácil darse cuenta del valor de este arrastre, ya sea cerca de los edificios de graduación de las salinas, donde los vientos causan fuertes pérdidas y donde el aire está cargado de una masa de partículas salinas, ya en las orillas del mar, donde los vestidos se impregnan de las sales minerales contenidas en el agua. Bunsen ha hecho notar que era casi imposible practicar el análisis espectral sin encontrar sosa en el aire. Por lo demás, la proporción de estas sales aumenta con los vientos que proceden del mar ó las tempestades. Un metro cúbico de agua de lluvia en París ha dado en los seis primeros meses del año respectivamente 2,64, 7,61, 3,58, 3,60, 1,90 y 2,26 gramos de cloruro de sodio, y se ha podido separar de ella hasta 17 gramos de 1 metro cúbico de nieve.

Estando en proporciones mucho menores en el agua del mar los bromuros y ioduros, sólo se hallan en cantidades tan infinitesimales en las aguas de lluvia, que los reactivos son á veces impotentes para descubrir. Así, han dado lugar á controversias numerosas. La mayor parte de las observaciones tienden á confirmar la presencia constante de este elemento en la proporción de algunos centigramos por metro cúbico.

El sulfato de cal es muy abundante en las aguas de lluvia en París, de lo que procede el uso grandísimo que allí se hace del yeso en las construcciones.

Las materias orgánicas halladas en las aguas meteóricas son muy frecuentes y de muy variada naturaleza. Es fácil darse cuenta de esto dejándolas en reposo en un tubo estrecho de vidrio, terminado por una punta afilada donde se reunen las que se hallan en suspensión. Se puede, rompiendo la punta afilada, recibir el residuo sobre un filtro y determinar su peso, y de esta suerte se hallan de 10 á 25 gramos por metro cúbico. En cuanto á su composición, se tienen muy pocos datos precisos desde el punto de vista químico, pero existen en ella gran número de esporos y bacterias. Para no fraccionar este importante asunto, hablaremos de él al tratar del análisis de las aguas.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Los gases disueltos en las aguas meteóricas están en proporciones variables relacionados con diversas influencias, de que hemos tenido ocasión de hablar con ocasión de las propiedades físicas del agua. Estas aguas contienen los gases de la atmósfera en las proporciones medias de 63 por 100 de ázoe, 34 de oxígeno y 2 por 100 de ácido carbónico, á la temperatura de 15°.

Además de las sustancias que acabamos de señalar, pueden contener accidentalmente otras muchas las aguas de lluvia. El polvo de los caminos, las partículas de carbón de las fábricas, polvillo metálico en las regiones en que lo contiene la atmósfera, son muy frecuentes; pero pueden también encontrarse granos de polen de los vegetales, algas rojas y otras diversas partículas coloreadas, llevadas por los vientos, que han dado origen á leyendas de lluvias de sangre, azufre, etc., que son ya conocidas.

Es conveniente indicar que la composición que acabamos de establecer para las aguas meteóricas se refiere á las recogidas con cuidado como muestra y preservadas por consiguiente, en cuanto es posible, de toda acción extraña. Pero en la vida usual se recogen las aguas de lluvia en cisternas, á su caída de los tejados y canalones, y se cargan de esta suerte de una cantidad mucho mayor de impurezas, polvo de los tejados, orín de las partículas metálicas, sales de la argamasa y mampostería, principios extractivos de los depósitos de madera, que se disuelven principalmente gracias á la riqueza en amoniaco de las aguas de lluvia.

Las aguas corrientes, de los arroyos y ríos, son el resultado directo é indirecto de la caída de las aguas meteóricas. No volveremos sobre este asunto, ni sobre el efecto de erosión y nivelamiento que realizaron en la superficie del globo. Las materias en suspensión que arrastran las aguas de los ríos, y cuya importancia hemos indicado en algunas inmensas corrientes de agua, como el Ganges, el Mississipí y el Nilo, son generalmente muy tenues y comunican al río su matiz. El río Amarillo en China le debe su nombre característico; arrastra cerca de un millón de metros cúbicos por día de légamo. El Rhin, en algunos puntos, contiene materias en suspensión tan tenues que pueden atravesar los filtros. No se consigue separarlas sino por un reposo de muchos meses, y el depósito es soluble, al menos los 90 centésimos de su peso, en ácido clorhídrico. Es de notar que antes de su entrada en el lago de Constanza las materias en suspensión del Rhin son de otra consistencia y naturaleza, sobre todo en carbonatos.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

La composición de las aguas corrientes experimenta la acción de las tierras que constituyen su lecho. El légamo y la tierra vegetal quitan al agua una parte de las sales en disolución; esta acción se marca principalmente para el amoníaco y la potasa, y es mucho menor para la sosa. Entre los ácidos, la absorción es muy marcada; sobre todo para el ácido fosfórico y los cloruros, no parece que tienen alteración.

Por lo demás, existen notables diferencias según los terrenos que atraviesan.

Esta acción purificadora de las sales está grandemente contrabalanceada por la acción inversa, disolviendo el agua una cantidad mayor de materias que se le ha separado. De aquí resulta que, en definitiva, las aguas corrientes están más cargadas que las aguas de lluvia de sales minerales, y se comprende sin trabajo qué variedad tan grande se debe encontrar en las sustancias disueltas, según las aguas que se analizan.

La proporción de materias sólidas es generalmente bastante grande para que los reactivos acusen inmediatamente su presencia, sin que haya necesidad de concentrar el líquido. Mientras está comprendida entre 0,01 y 0,06 por 1.000 para las aguas de lluvia, se eleva de 0,05 á 0,16 para las aguas corrientes, sin que por lo demás influya esta cantidad de un modo sensible en la densidad.

Así es que el agua del Jordán, tan cargada de sustancias minerales, no tiene más que 1,00084 de densidad, y el agua del Támesis, 1,0003 en lugar de 1.

El siguiente cuadro dará una idea del residuo hallado en un litro de agua de diferentes ríos.

Las cifras se expresan en miligramos.

Loire, cerca de Firminy..	35
Rhône, en Lyón, en verano	107
Mosela, en Metz..	116
Garona, en Tolosa..	137
Saona, en Lyón	141
Isera, en Grenoble	188
Vesle, antes de Reims	190
Doubs, en Besançon..	230
Rhin, en Estrasburgo..	232
Escaut, en Cambray..	294
Deule, antes de Lilla	308
Tíber, en Roma	546
Jordán	1.052
Nilo..	1.580

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Las siguientes cifras darán idea de las variaciones que puede experimentar esta proporción de materias sólidas:

Sena. . . .	En la parte de arriba del puente de Bercy.		301
	Delante del puente de la Concordia		276
	Cerca del Puente Nuevo, nieve fundente..		363
	Idem íd., durante una crecida..		200
	Idem íd., en época tempestuosa.		150
Rhin. . . .	Cerca de Bonn, agua muy turbia.		310
	Idem íd , después de fuertes lluvias.		514
	Idem de Urdingen, después de una crecida		780
Támesis . .	Vaux hall. . . .	momento del flujo del mar.. . . .	1.462
		ídem del reflujo íd.	387
	London bridge. .	ídem del flujo íd.	1.617
		ídem del reflujo íd..	458

He aquí los resultados de los análisis practicados por los químicos españoles Sres. Puerta y Manjarrés, del río Lozoya el primero y de los ríos Besós y Guadalquivir el segundo:

SUSTANCIAS CONTENIDAS EN UN LITRO DE AGUA	LOZOYA (Madrid).	BESÓS (Barcelona).	GUADALQUIVIR (Sevilla).
Acido carbónico (libre)..	2 cc,0	total, 143 cc	
Aire atmosférico.	28 cc,0		
Carbonato de cal			
Bicarbonato de magnesia..			
Idem de potasa.			
Sulfato de cal..			
Idem de magnesia.			
Idem de sosa.			
Idem de potasa.	0 gr,058	0 gr,372	0 gr,510
Idem de estronciana..			
Cloruro de sodio.			
Idem de potasio..			
Nitratos alcalinos..			
Sílice.			
Materia orgánica	0 gr,020	indicios	0 gr,027
Carbonato de hierro	»	»	»
Total..	0 gr,078		

(*A. del T.*)

El agua de los ríos está, pues, tanto más cargada cuanto más populosas sean las comarcas que recorra, sobre todo á la salida de éstas, donde las aguas de los ríos generalmente reciben el contenido de las alcantarillas. Se ve también la influencia que ejercen

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

el flujo y reflujo sobre los ríos que, como el Támesis, están sometidos á ellos en la travesía de una gran ciudad. El Támesis contiene tres veces más elementos sólidos en la alta marea, donde acaba el agua de caer en el mar, que durante el reflujo. En esta proporción la mayor parte está representada por las materias en suspensión, y las materias disueltas varían tan sólo de lo sencillo á lo doble.

Las lluvias y el deshielo de las nieves influyen notablemente en la riqueza de partículas insolubles.

La proporción de éstas puede variar de 7 á 110 miligramos por litro en el curso de un año.

El carbonato de cal constituye la mayor parte de las sustancias disueltas y representa 43 á 94 por 100 de ellas, según los ríos, pero esta proporción varía con la naturaleza de los terrenos atravesados por el mismo río. Así es que en el Isera, que contiene 36 por 100 de carbonato de cal en los terrenos graníticos, se observa que esta cifra sube á 88 por 100 en la creta.

La proporción de las materias muy solubles va decreciendo á medida que se aleja del origen, á la inversa de las sustancias poco solubles.

La lista de los cuerpos que se pueden encontrar en las aguas corrientes es bastante larga; regularmente hay en ellas sulfatos y carbonatos de cal y de magnesia, sílice, con mucha frecuencia cloruros y materias orgánicas, más todavía nitratos y fosfatos, y excepcionalmente manganeso, iodo y estronciana. Pueden clasificarse de este modo en orden decreciente de importancia:

Cal, magnesia, ácido sulfúrico, ácido carbónico, sílice, cloro, materias orgánicas, sosa, potasa, alúmina, óxido de hierro, ácido nítrico, iodo y manganeso.

La influencia de las grandes poblaciones es generalmente mayor en el aumento de esa cantidad; pero hay alguna vez causas muy distintas, por ejemplo, los depósitos de turba, que cargan las aguas de una gran proporción de sustancias orgánicas y las coloran de pardo. El olor particular de los residuos de evaporación de los diversos ríos manifiesta bien esta diferencia. Las materias orgánicas en suspensión ó en disolución en las aguas de los ríos no son correlativas de la presencia del amoníaco, mucho menos abundante que en las aguas de lluvia. Así es que esta última contiene, por ejemplo, $0^{gr},79$ por metro cúbico; el agua del Rhin, en la misma localidad, sólo contiene 0,48 en junio, 0,17 en octubre, y el agua del Sena, en el puerto de Ivry, igualmente 0,17.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Esta pequeña proporción, que representa todavía un número respetable de toneladas para el volumen de agua del río, se explica fácilmente por la fijación del amoníaco ejercida por el terreno (como ya hemos dicho) y por la evaporación de las aguas del río, que arrastran en gran parte el amoníaco.

Los nitratos, por el contrario, están en proporción mucho mayor.

Las aguas del Sena, en Bercy, contienen de éstos hasta 14gr,6 por metro cúbico.

Las aguas de los ríos tienen en disolución gases. Un litro de agua del Sena suministra de 40 á 54 centímetros cúbicos de ellos; pero las proporciones disueltas por las diversas corrientes de agua no están siempre en relación exacta con las leyes que presiden á la disolución de las mezclas gaseosas, á causa probablemente de las acciones de los organismos vivos y también á las impurezas que contienen. En el siguiente cuadro, que indica la proporción de los gases disueltos por diferentes aguas corrientes, puede apreciarse la proporción muy considerable de ácido carbónico.

Ciertamente la absorción de estos gases por el agua contribuye mucho á mantener el equilibrio de la atmósfera, sustrayendo el aumento que ocasionarían los productos de la respiración de todos los seres vivientes:

		Acido carbónico	Azoe.	Oxígeno.
Sena..	En el puente de Ivry.	13	total, 3	
	En la bomba de la Gran Roca.	14	» 4	
	En Bercy	16,2	12	3,9
Rhin, en Estrasburgo.		7,6	15,9	7,4
Garona, en Tolosa.		17	7,9	15,7
Loire, en Orleans.		18	total, 20,2	
Rhône, en Ginebra		7,9	18,4	8,4

(Las cifras expresan los centímetros cúbicos de gas por litro.)

Se han dado por Boussingault cifras interesantes acerca de las aguas tomadas á diversas alturas, desde el punto de vista de su valor en gas.

Las resumimos en el siguiente cuadro:

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

	Nivel en metros por cima del mar.	Acido carbónico	Aire, centímetros cúbicos.
Agua del mar.	0	»	35
Manantial.	700	16	12
De avenida, cerca de Santa Fe	2.640	»	12
Agua de fuente.	2.640	11	12
Agua de nieve	2.640	3	14
Avenida de la Basa.	3.000	2	11
Agua de nieve.	4.700	»	»

Se ve que la influencia de las grandes alturas es de las más marcadas, desde el punto de vista de la cantidad de aire disuelta, y Boussingault atribuía á esta influencia el bocio. No es la única hipótesis que se ha emitido en este concepto (1).

Al lado de las aguas corrientes se colocan las de los lagos. Son depresiones donde las aguas se han acumulado, hasta que han podido alcanzar el nivel de la vertiente; otras veces su nivel se mantiene constante por el solo hecho de la evaporación. La superficie de estos lagos es extraordinariamente variable, y la composición de sus aguas no lo es menos.

En los países montañosos, cuando las aguas meteóricas no tienen más que una pequeña corriente antes de llegar á un lago, las aguas de éste son muy pobres en materias disueltas, lo mismo minerales que orgánicas.

Los canales marcan la transición entre las aguas corrientes y las aguas inmóviles. Alimentados por las fuentes y arroyos de los países que atraviesan, están en un plano casi horizontal y sus aguas, móviles solamente en el momento de la apertura de las exclusas, casi siempre son estancadas. Así es que son más impuras que las de los ríos y arroyos, sobre todo cuando atraviesan las poblaciones. Los depósitos abundantes, que necesitan la limpieza periódica, exhalan casi siempre un fuerte olor á hidrógeno sulfurado y contienen de 8 á 40 por 100 de sustancias orgánicas.

(1) Pueden citarse como tipo de aguas puras, en los ríos de España, las del Lozoya, el Manzanares, el Tormes en Salamanca y las del Duero en Soria. Hay, por el contrario, otros ríos cuyas aguas son muy gruesas, como el Tajo, el Guadiana, y algunas, como las de Río Tinto, sumamente impuras.
(N. del T.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Las aguas subterráneas, saliendo á la atmósfera en forma de manantiales ó explotadas en forma de pozos, son las más importantes desde el punto de vista de las necesidades diarias y de los usos industriales. Hemos visto que constituyen la porción de las aguas meteóricas que se sustrae á las corrientes, y que después de haber circulado más ó menos tiempo á profundidades mayores ó menores de las grietas del terreno forman balsas subterráneas que alguna vez originan manantiales, ó que pueden ponerse al descubierto por medio de pozos más ó menos profundos. Tiene gran influencia en ellos las aguas meteóricas exteriores, sin que pueda con frecuencia notarse la relación que los une á causa del paulatino movimiento de las aguas del suelo y de las distancias considerables que recorren.

Los pozos que se alimentan de las balsas de agua subterráneas pueden expulsarla cuando el agua está contenida bajo determinada presión entre capas impermeables y tiende á volver á adquirir su nivel. Las perforaciones ordinarias, cuya profundidad y diámetro son muy variables, llegan sólo hasta que se encuentra la balsa horizontal que hay en el terreno. La existencia de corrientes afecta á esta balsa, á las que es sumamente sensible.

Las aguas subterráneas, como es fácil comprender, son las que más se afectan por la composición de los terrenos que atraviesan. Deben á esta circunstancia su transparencia, generalmente muy grande, por la acción filtrante de las capas del suelo, su temperatura y mineralización. La temperatura se caracteriza con frecuencia por su constancia, y como ya hemos dicho anteriormente, en el sitio de emergencia la temperatura media caracteriza las aguas termales.

Los principios que tienen en disolución son de ordinario abundantes. Si las aguas meteóricas de infiltración pierden en el suelo su amoníaco, adquieren los álcalis, bases térreas, óxidos metálicos y sales minerales del suelo. Se cargan además de ácido carbónico y aun de ácido sulfhídrico. Las aguas más cargadas de materias disueltas se llaman *minerales*, y esta cualidad la deben principalmente á las propiedades de los elementos minerales y no á su abundancia; por lo demás, á veces es una distinción muy sutil la que hay que establecer entre las aguas que merecen la calificación de minerales y las que son francamente potables. Los elementos minerales de estas últimas son los mismos que los de las aguas de río, en proporción mayor: sales alcalinas y térreas, carbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, sustancias orgá-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

nicas y ácido carbónico. El residuo desecado de la evaporación de las aguas de fuente y de pozo varía entre 22 y 13.000 gramos, cuando se considera el conjunto de todas las aguas minerales, ó reduciendo los límites á las aguas usuales, de 22 á 1.240 gramos por metro cúbico. Los carbonatos, sulfatos, cloruros y silicatos rara vez faltan. Lo mismo sucede entre las bases con la cal y la magnesia. Las sustancias orgánicas faltan con mucha frecuencia. Los análisis son muy numerosos para poder resumirlos en un cuadro; sólo diremos que la proporción de los carbonatos varía entre 6 y 620 gramos, la de los cloruros entre 2 y 500 gramos y la de los sulfatos entre 0 y 2.600 gramos por metro cúbico. La proporción de sílice varía de 1 á 390 gramos y falta muy rara vez. El ácido fosfórico, los nitratos, la alúmina y el óxido de hierro son mucho más accidentales; las sustancias orgánicas fijas ó volátiles, coloreadas ó no, azoadas ó sin ázoe, son muy variables, y se han podido reconocer químicamente cuerpos no apreciados antes: ácido acético, fórmico, butírico, propiónico, y con frecuencia ácidos crénico y apocrénico.

El ácido carbónico (anhidrido carbónico) domina como elemento gaseoso; el ázoe y el oxígeno se encuentran siempre en ellas. Los análisis efectuados en las aguas, ya sean minerales ó no, son, por lo demás, de gran dificultad, ya por la rareza de los cuerpos que hay que valorar, ya por las imperfecciones de los métodos de análisis, ya también por la poca certeza en los agrupamientos de las sales y bases entre sí. Desde el punto de vista del aprovechamiento de las aguas potables, sólo hay un escaso número de elementos que nos importen.

El cuadro siguiente contiene los residuos por litro en miligramos de la evaporación de diversas fuentes:

Fuentes de Dhuis	293
Idem de Arcueil	527
Canal del Ourcq	590
Fuentes de Lyón	230 á 465
Idem de Burdeos	245 á 523
Idem de Besançon	280
Idem de Trevi, en Roma	263
Pozos artesianos de Passy	141
Idem íd. de Grenelle	142
Idem íd. de Rouen	133
Idem íd. de Tours	300
Idem íd. de Lille	394 á 711
Idem íd. de Roubaix	547 á 766
Idem íd. de Elbeuf	710

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Pozos de Londres..	803
Idem de Alfort, cerca de París	580
Idem de Carmes, en Reims..	1.454
Idem en la Escuela militar, de París	2.147
Idem de San Nicasio, en Rouen.	1.753
Idem de San Gervasio, cerca de París	1 194
Idem íd. de Bellevi'le..	2.520
Idem íd. de Saint-Allyre..	6 047

Cuando el residuo de la evaporación alcanza estas últimas cifras, las aguas de pozo, casi saturadas de carbonato y sulfato de cal, se hacen incrustantes. Volveremos sobre este asunto, muy importante para el aprovechamiento industrial.

Las aguas de los lagos no pueden considerarse como estancadas, gracias al movimiento que reciben del agua que los atraviesa y de los vientos que los airean. Los estanques, las balsas y los pantanos están en condiciones muy diferentes. Los estanques se hallan constituídos por un conjunto de aguas meteóricas, en declives impermeables del suelo, que las retiene frecuentemente por medio de una entrada. Alguna vez se explotan en los países que son muy abundantes, con el auxilio de un procedimiento particular, que consiste en desecarlos cada dos años y cultivarlos durante el tercer año. Se consigue así doble beneficio de la pesca suficientemente productiva y de la recolección abundante sobre el légamo fértil que han dejado las aguas. Por lo demás, estas ventajas se pagan muy caras por la insalubridad legendaria de los países cenagosos, diezmados por las fiebres palúdicas.

Las charcas, practicadas artificialmente y alimentadas con las aguas de lluvia, están con mucha frecuencia en seco y se hallan en condiciones todavía peores, gracias á la enorme proporción de materias orgánicas que á ellas aportan los líquidos de las cuadras, estercoleros y caminos. Los pantanos son terrenos muy impregnados de aguas estancadas, que allí permanecen en capas muy delgadas por la insuficiencia de su salida en un terreno arcilloso é impermeable. Se hallan con frecuencia muy esparcidos sobre el litoral cerca de la desembocadura de los ríos y arroyos, y pueden designarse como constitutivos de la mayoría de los deltas de los grandes ríos. Por otra parte, son las inundaciones periódicas de los ríos las que provocan su formación, y pueden utilizarse con este motivo algunos cultivos sumergidos, como los arrozales y mimbreras. Su extensión, que excedía en otro tiempo en Francia de 500.000 hectáreas, tiende á disminuir por los esfuerzos hechos para su desecación y cultivo de tierra.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

El agua de estos sitios es generalmente irisada, con reflejos azulados y brillantes, turbia, pardusca, olorosa, muy cargada de detritus orgánicos. Además de las reacciones de la putrefacción, son las aguas de los pantanos origen de algunas otras, como la reducción de los sulfatos, que se transforman en sulfuros é hidrógeno sulfurado. Esta transformación se observa principalmente cuando los pantanos, á consecuencia de su posición especial, están formados por una mezcla de agua dulce y agua salada. Son las más insalubres de todas, y los animales que viven exclusivamente en uno ú otro medio mueren unos y otros por la mezcla con ellas. Este hecho, conocido desde hace mucho tiempo, se ha utilizado en los puertos para conservar las maderas de construcción, que se depositan frecuentemente en focos situados en la desembocadura de una pequeña corriente de agua, donde el mar llega hasta la alta marea.

Los gases de las aguas estancadas son ricas en formeno ó hidrógeno protocarbonado, que debe su nombre de *gas de los pantanos* á esta circunstancia. La atmósfera que les rodea, cargada con frecuencia de brumas, contiene con este mismo gas ácido carbónico y sulfhídrico, amoníaco, hidrógeno, con frecuencia hidrógeno fosforado, espontáneamente inflamable y que forma los fuegos fatuos. Hay casos en que este aire es más rico en oxígeno que la atmósfera ordinaria, gracias probablemente á la cantidad de plantas verdes que cubren estas aguas ó algas del mismo color que viven en ellas, y que bajo la influencia de la clorófila desprenden durante el día oxígeno, fijando el carbono del ácido carbónico (anhidrido carbónico).

Los pantanos salados forman una categoría muy especial, y no ofrecen cuando funcionan ninguno de los inconvenientes de los pantanos ordinarios. No sucede lo mismo cuando están abandonados, como sucede con los del Oeste de Francia.

Ofrecen entonces en el más alto grado las condiciones de insalubridad y la población disminuye rápidamente en los sitios en que se hallan.

Una clase interesante de aguas estancadas es la de las *albercas*, sitios donde se practica el embalsado del lino y del cáñamo. Se sabe que esta operación tiene por objeto destruir la materia que retienen aglutinadas las fibras textiles de estas plantas por una verdadera fermentación, primero ácida y después alcalina. Gracias á las oxidaciones que se realizan en estas materias orgánicas el agua de las albercas llega á no contener ya el menor indicio de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

oxígeno, y la misma agua de los arroyos en las proximidades de la alberca sólo contiene cantidades insignificantes.

Todas las aguas que acabamos de enumerar pueden emplearse en momentos dados en los usos domésticos. Se trata ahora de precisar los caracteres que permitirán reconocer *à priori* si un agua es propia para este uso, ó en una palabra, si es potable. He aquí una cuestión de interés capital y de las más difíciles de resolver, como todo cuanto se refiere á este elemento, tan sencillo y universalmente esparcido. La cuestión de la composición química y de los caracteres exteriores ha venido á complicarse de un modo extraño por la aparición en escena de toda la bacteriología y falsos microbios. Complicación no siempre es sinónimo de esclarecimiento, y en el caso presente, la bacteriología no siempre satisface las esperanzas que había hecho concebir, ni aporta nueva luz á los oscuros puntos relativos á las aguas potables.

Algunos de estos resultados parecen sin embargo bastante bien establecidos, y el conjunto de investigaciones suscitadas en este orden de ideas es bastante considerable é importante para que no nos detengamos en ellas algún tiempo.

Si no se consideran más que las cualidades organolépticas de un agua potable, podemos atenernos á la definición clara y precisa dada en 1851 por el *Anuario de las aguas de Francia*:

«Un agua puede considerarse como potable cuando es fresca, limpia, inodora; cuando su sabor es débil, ni desagradable, ni molesto, ni salado, ni dulzaino; cuando contiene pocas materias extrañas y suficiente aire en disolución; cuando disuelve el jabón sin formar grumos y cuece bien las legumbres».

Las cualidades que exigía Hipócrates en su *Tratado de aires, aguas y lugares* no difieren esencialmente de éstas. Para él, las mejores aguas para beber son limpias, ligeras, exentas de sabor y olor; las de los lagos y pantanos, que son duras, saladas y aluminosas, son muy malas. Plinio, reproduciendo los preceptos del *padre de la medicina*, las ha exornado, según su costumbre, con todas las fábulas que corrían en su tiempo; cita con toda seriedad las aguas que embriagan, que hacen perder la memoria ó la fortifican, hacen idiotas ó comunican talento, curan el fuego de amor ó rejuvenecen á los viejos. Tal otra cambia el color de los animales que la beben, etc.

Celso, que fué también uno de los grandes médicos de la antigüedad, clasificaba las aguas según su *ligereza* para el estóma-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

go, y Vitruvio afirmaba poder reconocer con la sola inspección de los habitantes de un país el valor de las aguas que bebían.

Es preciso reconocer que tales caracteres se presentan con bastante espontaneidad á la inteligencia y no se han podido modificar desde Hipócrates hasta nuestros días. Las condiciones que debe llenar un agua potable están principalmente subordinadas á las sensaciones del gusto y no se traducen en simples necesidades fisiológicas, como sucede por ejemplo con la sensación de la sed. Esto explica que los animales hagan uso del agua turbia ó salitrosa, que el hombre no usaría sino en último extremo. Estas condiciones del gusto se comprenden entre límites bastante estrechos. El agua á una temperatura soportable por la boca obra como vomitivo y el agua helada causa una sensación de dolor. La temperatura de un agua potable debe hallarse comprendida entre su punto de congelación y la temperatura de la sangre, ó con más exactitud entre 9 y 14°. Se conocen los accidentes causados por la ingestión del agua helada durante la transpiración.

La claridad es la circunstancia que con más frecuencia exige nuestra imaginación, y las aguas turbias producen una sensación de desagrado. Puede necesitarse más directamente que las partículas en suspensión obren directamente sobre los órganos. Por lo demás, esta cualidad puede conciliarse con cierto grado de coloración. Algunas aguas cargadas de materias térreas y coloreadas como de café, cual se hallan en algunas llanuras de la América del Sur, no son menos aptas para usarlas como bebida.

El sabor de un agua potable se distingue fácilmente por las personas dotadas de una gran sensibilidad del gusto. Hay pocas aguas que conservadas en la oscuridad, después de la insolación, no adquieren un ligero olor de *estancada*. No podrán tenerse por nocivas por este motivo, si durante esta conservación no se enturbian en la oscuridad.

La disolución imperfecta del jabón que forma grumos y la mala cocción de las legumbres indican seguramente un agua *cruda*, *dura*, cargada de sales minerales, cloruros y sulfatos alcalinos y térreos, que hay que rechazar del consumo.

Las aguas rigurosamente puras, como el agua destilada, no deben aceptarse para bebida. Un agua potable debe contener gases, sales y materias orgánicas.

El agua potable debe contener por litro 20 á 35 centímetros cúbicos de gas, formado de 50 por 100 próximamente de ácido

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

carbónico (anhidrido), y el resto está constituído de oxígeno y ázoe en la proporción de 31 á 33 del primero para 69 á 67 del segundo. El agua privada de gas es pesada, se digiere mal y es repugnante. En rigor, basta que contenga los elementos del aire, sobre todo el oxígeno, y el ácido carbónico le comunica una frescura agradable. Por lo demás, es de notar que el agua contiene tanta más cantidad de gas cuanto más fría es; de consiguiente que la condición de frescura, que expresamos por una sola palabra, contiene á la vez estas dos condiciones. El hidrógeno sulfurado, que alguna vez existe en las aguas, si no es perjudicial, al menos quita todo deseo de beberlas.

Las aguas conocidas como mejores empíricamente contienen todas cierto número de sales minerales, siempre las mismas y en condiciones poco variables. Su proporción debe alcanzar al menos á 50 centigramos por litro. Parece que no hay en la preferencia concedida á las aguas así mineralizadas una simple condición de paladar; las sales que contiene el agua potable suministran al organismo la cal que necesita para formar los huesos, y de la cual consume diariamente de 5 á 10 centigramos. Existe á propósito de esto una experiencia de Boussingault, citada en todas partes. Habiendo alimentado un cerdo durante noventa y tres días con patatas y agua, demostró que el animal se había asimilado durante este período 266 gramos de cal, de los cuales 178 procedían del agua y solamente 98 de los alimentos sólidos.

Por bajo de un decigramo es insuficiente la mineralización del agua, y más de cinco decigramos es excesiva, y tienen entonces las aguas un sabor salino ó térreo, amargo ó salitroso, según los principios que contienen, y su empleo produce inconvenientes. Las aguas calizas *duras* se conceptúa que producen cálculos vesicales; las aguas muy magnesianas, amargas y laxantes, forman depósitos de fosfato amónico-magnésico en la orina ó en la vejiga; las aguas ricas en nitratos son ya sospechosas de nocivas, porque denuncian la presencia de un exceso de materias orgánicas y fatigan más el riñón por su acción diurética; las aguas silíceas parecen producir la caries dentaria en algunas poblaciones que se surten de ellas, donde parece imposible hallar una dentadura perfecta. No hablaremos del plomo y del arsénico, que son decididamente tóxicos.

Se ha atribuído durante mucho tiempo al bromo y al iodo, contenidos en cantidades infinitesimales en todas las aguas, propiedades esenciales. Chatín explicaba las afecciones del bocio y el

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

cretinismo de los habitantes de algunos valles de los Alpes por la ausencia de estos elementos. Vigorosamente combatida esta idea después por otros químicos, que demostraron la existencia del iodo en las aguas y atribuyeron el resultado de Chatin á las impuridades de los reactivos, se creyó después que estas afecciones se debían á la magnesia en exceso, para ser en absoluto condenadas.

Las materias orgánicas contenidas en las aguas potables son de dos especies: unas son detritus ó productos excrementicios, otras son organismos vivientes. Las primeras, solubles ó insolubles, pueden dar al agua un olor ó un sabor desagradables, hacerla insípida, pero su ingestión no parece causar accidentes graves. Si se han, sin embargo, tenido como nocivas, ha sido por la presencia ordinaria en ellas de microbios, frecuentemente peligrosos, á los que hay que atribuir con más fundamento el origen de las enfermedades.

El encharcamiento de las aguas, la ausencia de oxígeno, la putrefacción de las materias orgánicas y los olores que arrastran, los ácidos grasos y gases que son la consecuencia de esto, pueden producir perfectamente serias perturbaciones digestivas, con independencia de su aspecto repugnante y nauseoso; pero no hay que olvidar que la presencia de algunos bacilos patógenos, como el de la fiebre tifoidea por ejemplo, en un agua muy pura, sin modificar en lo más mínimo su aspecto exterior, podrá convertirla en un líquido peligroso.

Llegamos á la cuestión de los organismos vivientes. Para que un solo animal ó una planta dada pueda vivir en un agua, es necesario que halle en ella independientemente de las condiciones de temperatura y luz el alimento necesario, tomando esta palabra en su sentido más lato, es decir, el oxígeno necesario para su respiración y las sustancias destinadas á reparar sus pérdidas de desasimilación. Es necesario, en fin, que el medio no contenga sustancias tóxicas, ya actúen directamente sobre las grandes funciones orgánicas del sér, ya intoxiquen indirectamente quitándola por ejemplo el oxígeno.

Puede, pues, preguntarse desde luego si el estudio de la vida en el agua podrá suministrar elementos de apreciación de su calidad, y si no hay una relación entre las condiciones de existencia de ciertos seres animales y vegetales y el hecho de ser un agua á propósito para el consumo.

En los trabajos seguidos durante muchos años acerca de este

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

asunto, un hábil quimico, Mr. Gerardin, estableció acerca de la fauna y la flora de las aguas una serie de reglas relativas á su pureza.

Admite Gerardin como característico de las aguas dulces moluscos, hierbas verdes y algas. Entre los primeros la *Physa fontinalis;* la *hermina de las aguas puras* no puede vivir sino en las aguas de mejores condiciones. Las limneas y planorbias, sobre todo estas últimas, se encuentran en las aguas ordinarias. Las dos especies de *Bythinia impura* y *Cyclas córnea* llegan hasta las aguas muy medianas; han reemplazado en el Sena al *Planorbis corneus* á medida que el río se ha infectado más. A partir de este punto no se encuentran ya moluscos en las aguas.

El berro de fuente reemplaza en las aguas puras á la *Physa fontinalis;* es la más delicada de todas las plantas acuáticas. En seguida viene el *Sparganium ramosum*, con sus anchas hojas, estrechas é interrumpidas. Las caráceas, colocadas por muchos botánicos entre las algas superiores, viven en las aguas ordinarias, á las que comunican mal sabor sin hacerlas insalubres. Por último, el carrizo, *Arundo fragmitis*, vive en las aguas de peores condiciones. A partir de este último, los moluscos y plantas que acabamos de citar caracterizan las aguas que siempre permanecen potables.

Las algas descienden más y son características de las aguas más impuras, al mismo tiempo que algunas de sus especies son indicio de aguas muy buenas.

Entre estas últimas hay que citar los *cladóphora*, algas verdes y voluminosas, ramificadas, que se hallan entre las más elevadas en organización.

Cuando las aguas se alteran algo, los *cladóphora* son reemplazados por los *zygnema*, que no se ramifican ya. Son algas filamentosas, en las que se esparce la clorófila en cada articulación al rededor de dos puntos estrellados en lugar de estar uniformemente esparcida.

Los *sphyrogyra*, en que la clorófila se distribuye en una elegante colonia espiral en la parte interna, son característicos de las aguas más alteradas.

Por último, si las aguas resultan francamente insalubres y el oxígeno desaparece, falta la clorófila y las algas son incoloras y de una organización mucho más sencilla. Los grados de alteración se marcan por la aparición de los *crerothrix*, después de los *beggiatos*. Muchas especies de estos últimos viven en los ma-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

nantiales sulfurosos calientes. Partiendo de estos datos, admite Gerardin en principio que toda agua en que crezcan largas algas verdes puede beberse sin peligro, cualquiera que sea la repugnancia que pueda inspirar. Toda agua en la que no crezcan hierbas blancas ó algas esféricas debe prohibirse hasta que se haya hecho su examen microscópico.

Para este autor, un agua es suficientemente pura cuando el berro crece y pueden los peces vivir en ella. Además, continuando este estudio, encuentra Gerardin que la impureza de un agua, caracterizada por su fauna y su flora, es siempre correlativa de la cantidad de oxígeno disuelta.

El mismo autor ha intentado explicar algunas de las propiedades físicas de las aguas potables. Un agua muy pura en un depósito subterráneo no refleja la luz y permanece casi invisible. Un agua impura es, por el contrario, un excelente espejo, y posee un brillo como graso. Presenta alguna vez un tacto particular, que se traduce por una sensación más ó menos untuosa, y un agua es tanto mejor cuanto las imágenes de los objetos, vistos por reflexión, presentan más pequeñas ondulaciones; en virtud de la misma propiedad, las ondas formadas en la superficie de un agua glutinosa y grasa al tacto son más extensas y suaves que las formadas en un líquido menos coherente.

La presión barométrica, el viento, la luz, son factores que, según las minuciosas investigaciones de Gerardin, hacen variar la calidad de las aguas. La limpieza aumenta con la presión; las nubes y las tempestades, que corresponden á una depresión barométrica, hacen el agua más oscura y turbia. Hipócrates decía ya que los vientos del Mediodía aumentan la mala calidad de las aguas; corresponden, en efecto, al descenso del barómetro. El lado ó ángulo de un depósito de agua que mire al Este es en general más rico en oxígeno que el sitio opuesto. Un agua que corre de Oeste á Este es más pura que la que corre en sentido contrario, porque se dirige según la dirección de los vientos reinantes. Parece que los ingenieros romanos siguieron este precepto, dando á sus grandes acueductos esta dirección de Oeste á Este. En el momento de la postura del sol, el olor que desprenden las aguas impuras se hace mucho más marcado, y al salir el sol, el *valor oximétrico*, que mide la cantidad de oxígeno disuelta, desciende bruscamente. Estos efectos se deben á la luz. Durante el día las plantas verdes de las aguas, gracias á su clorófila, desprenden en abundancia el oxígeno que quema las mate-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

rias orgánicas. Por la noche este trabajo se suspende y el oxígeno necesario lo toma de los sulfatos, que se transforman en sulfuros. Se desprende también amoníaco, por un mecanismo parecido de reducción, y estos hechos explican la recrudescencia de los malos olores. Al salir el sol se produce el mecanismo inverso: los productos de reducción se oxidan y la cantidad de oxígeno disuelta alcanza rápidamente su mínimum. Este puede descender bastante para que la vida de los peces no sea ya posible, y se observa efectivamente que la muerte de éstos, cuando se produce en aguas muy impuras, tiene siempre lugar algún tiempo después de la salida del sol.

Esta acción enérgica de la luz se extiende por lo demás á la atmósfera. Un tiempo constantemente gris y cubierto aumenta la mortalidad; la higiene de los sitios pantanosos exige levantarse pronto y acostarse lo mismo, pues la noche es mucho más insalubre que el día, y en los países tropicales es notorio que la permanencia nocturna en camas bien secas á las orillas de los sitios pantanosos ó en llanuras bajas pueden producir fácilmente el impaludismo.

Hay necesidad de hacerse cargo de algunos datos importantes de Gerardin, porque sus observaciones, practicadas con cuidado y seguidas durante muchos años, nos parecen muy sagaces y curiosas. Suministrarían probablemente un excelente criterio para el valor de un agua potable si no hubiera de tenerse en cuenta la enojosa cuestión del microbio patógeno, que no tiene que ver con la alteración de las aguas ni con la pérdida de su limpieza.

Antes de pasar al examen de las bacterias del agua, debemos añadir algunas palabras sobre los organismos vivientes que pueden encontrarse en las aguas potables y ocasionar peligros. Las sanguijuelas son las más comunes. En la época en que las emisiones sanguíneas estaban en boga, eran las sanguijuelas uno de los primeros auxilios de la terapéutica y se cultivaban en gran escala en los pantanos que ofrecían todos los inconvenientes de esta masa de agua estancada. Algunas especies de sanguijuelas viven en aguas de aspecto muy repugnante; otras pueden causar accidentes, porque viven en aguas que pueden beberse y alguna vez se ingieren, se fijan á la faringe y aumentan enormemente de volumen llenándose de sangre. Tales son: el *Hæmopis sanguisuga*, muy frecuente en los arroyos de Argelia, y el *Hæmadipsa* de las aguas del Nilo, filiformes cuando se hallan en estado de vacuidad y que pueden tragarse fácilmente. Las aguas pueden tam-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

bién contener muchos huevos de parásitos, que se desarrollan inmediatamente en el organismo humano: los del *Bilhazia*, de algunos distomas, de las filarias, dracúnculos, ascárides, ankilostomas, tenias y anguílulas, á los que hay que atribuir muchas afecciones graves, propias en general de los países cálidos.

Los infusorios forman una clase muy numerosa, cuyos representantes más vulgares, las paramecias, por ejemplo, se encuentran con mucha frecuencia en las aguas dulces. Son inofensivas, y aun tal vez útiles, destruyendo las bacterias, como han demostrado experiencias concluyentes.

Por último, es necesario decir algo del *miasma palúdico*, causa de las fiebres de los pantanos, que maltratan con tanta intensidad á los habitantes de ciertas regiones y que se le ha dado este nombre á falta de otro más adecuado. El famoso miasma se ha atribuído á los gases desprendidos de los pantanos y de algunas plantas que crecen en ellos, que se han calificado de especies febrígenas, y por último á microorganismos de las aguas. Aunque la verdad parece hallarse en este sentido, no hay en tal concepto más que interpretaciones fantásticas y puramente *literarias*. Los resultados de más fundamento parece que se han obtenido por Laveran, que ha encontrado muchas veces los microorganismos en cuestión en la sangre de los enfermos atacados de fiebres intermitentes, y cuyas investigaciones se han confirmado por otros observadores en diversos puntos del globo á fin de darles un verdadero carácter de autenticidad. Si citamos aquí estos *hematozoarios*, que parecen distintos de las bacterias, no es porque en rigor se haya demostrado su presencia en las aguas palúdicas. Lo que se sabe acerca de la infección en estos países se reduce á muy poca cosa, y si se ha podido definir el miasma de una manera algo científica, el hecho en nada cambia la cuestión de saber cómo se encuentra en las aguas infectas y cómo se transmite.

Los microorganismos más sospechosos que pueden econtrarse en las aguas potables son las bacterias, acerca de las cuales hay que dar algunas explicaciones. En 1850, con motivo del descubrimiento hecho por Davaine de la bacteridia carbuncosa, es cuando tomó cuerpo la doctrina de la *vida epidémica*, manifestando el papel que podían desempeñar los microorganismos en la patogenia. No se tardó en atribuir á éstos la infección de las aguas, y por consiguiente la transmisión de las enfermedades contagiosas que Pettenkofer había ya intentado explicar. El sabio médico de Munich observó la coincidencia de las epidemias

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de cólera y fiebre tifoidea con el nivel del agua subterránea, precediendo una elevación insólita de ésta. Esta teoría admitía implícitamente gérmenes desconocidos que se desprendían del suelo por su deshidratación. Bien acogida en un principio, fué poco á poco abandonándose por los sucesivos descubrimientos de los bacteriólogos, que demostraron los gérmenes patógenos transportados por las aguas y no formados en el suelo.

Una vez en este camino se ha supuesto al agua potable el emisario de todas las enfermedades infecciosas, como con frecuencia sucede en los primeros entusiasmos de una teoría seductora. Hoy esta hipótesis no parece que tiene fundamento más que para la fiebre tifoidea, el cólera y la disentería, sobre todo para la primera afección. Si no es el agua para ésta el único medio de contagio es indudable que constituye uno de los principales, y la presencia en las aguas potables del bacilo específico está perfectamente comprobada. El contagio se efectúa con frecuencia por las deyecciones y las telas manchadas de los tíficos, cuando las aguas de loción se infiltran en la capa subterránea que alimenta los pozos, en las corrientes de agua y cisternas donde se detienen las aguas pluviales. Con frecuencia se observa una relación de las más marcadas entre la aparición en un punto de la fiebre tifoidea y la presencia de las aguas potables sucias. Independientemente de las diversas epidemias estudiadas en Auxerre, Clermont-Ferrand y Pierrefonds, pueden citarse en este concepto muchas pequeñas epidemias locales acaecidas en los cuarteles, liceos, etc., y, por último, la experiencia anual realizada *in anima vili* en los parisienses, cuando la penuria de agua de fuente ha obligado á servirse del agua del Sena.

Para el cólera la cosa es mucho menos segura, ó al menos el papel del agua parece mucho menos preponderante. Se observó en 1849 por primera vez localizada en el distrito de Broad-Street, en Londres, en donde los habitantes bebían la misma agua; después en Génova, en 1884, casi en las mismas condiciones, y muy recientemente en Hamburgo. Pero otras apariciones explosivas, irregulares y caprichosas no se explican en manera alguna por esta hipótesis y obligan á admitir otros medios de contagio de una importancia por lo menos igual.

Es probable que las deyecciones de los disentéricos, qúe contienen bacilos particulares, sean susceptibles de impurificar el agua y hacer de ella un agente de transmisión de esta enfermedad que diezma los países cálidos.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Las aguas pueden, pues, servir de medio de evolución á las peligrosas especies de microbios que acabamos de indicar. Pero sería formarse una idea errónea de estos seres inferiores suponerlos dotados á porfía de propiedades maléficas. Los microbios de las aguas son, en efecto, muy numerosos, y algunos de ellos, aunque en pequeña cifra por fortuna, son patógenos. La putrefacción de la carne y del pescado en el agua puede suministrar una exacta idea de las floras microbianas sucesivas que contribuyen á esta acción. Se ven desde luego en abundancia las bacterias comunes en todas partes: *Bacillus subtilis, Bacillus mesentericus vulgaris, Bacterium termo*. Después los ferómenos se acentúan, el olor se hace más intenso y se ven predominar las especies *Bacillus fluorescens liquefaciens, fluorescens putridus* y *violaceus*. Cuando algunos días después el olor es marcadamente pútrido, se ven aparecer las especies *Proteus vulgaris* y *mirabilis*. En este momento, el resultado de la putrefacción contiene muchos productos olorosos, hidrógeno sulfurado y amoníacos compuestos. Los *Beggiatoa* aparecen en copos espesos y suministran también las bacterias; después se extingue la vida de éstas, siéndoles el medio desfavorable, y después de un tiempo bastante largo, en que el microbio de la nitrificación ha vuelto á aparecer, se ve que nacen rápidamente algas verdes, que prueban que toda la sustancia orgánica se ha transformado por último en productos sencillos que la planta privada de clorófila puede asimilar, preparando á su vez de este modo la alimentación de organismos más elevados. Las bacterias *saprofitos*, que viviendo á expensas de los productos de la putrefacción aparecen de este modo como un factor indispensable de la vida en el globo, no son nocivos. Su papel se limita á esta benéfica labor, y se pueden citar otros muchos agentes microscópicos que suplen, por su prodigioso número y poderosa actividad, á lo inferior de su organización, á los que está confiada la misión de transformar todos los productos de destrucción incapaces de servir directamente para la asimilación de los seres. Residuos de desasimilación del ázoe, materias excrementicias no asimiladas, cadáveres de animales y plantas, todo pasa por la maravillosa fábrica que constituye su única célula. Citamos en este momento el *Micrococcus nitrificans*, agente de la transformación en nitratos de los compuestos amoniacales. Su acción empieza por el *Micrococcus ureæ*, que desdobla la urea, producto de excreción del organismo, y forma el carbonato amónico. Por último, el *Bacillus butiricus* aparece como el tipo de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

una familia de bacterias á las que el oxígeno es nocivo como á las dos anteriores, y que atacando á los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, como los azúcares, el almidón y la madera, los descompone poco á poco, dando como último producto el ácido butírico.

Las bacterias patógenas, por oposición á los saprofitos, habitan en los organismos vivientes en forma de parásitos especiales. No siempre ejercen una acción nociva, y frecuentemente parecen útiles auxiliares del intestino por una verdadera digestión bacteriana. Pero entre estos últimos, muchos, en condiciones todavía mal precisadas, pueden resultar de pronto nocivos al organismo.

Otras especies lo son siempre y parece bien demostrado que son la causa de enfermedades á las que ya hemos aludido. El mecanismo mediante el cual actúan en el organismo sano es de gran importancia y desgraciadamente poco conocido. Un hecho está fuera de discusión: las bacterias son seres vivientes que están sometidos por consiguiente á la ley de existencia de todos los seres, asimilando por una parte y reclamando alimentos para la nutrición y respiración, produciendo por otra parte productos de secreción y de excreción, como los forman los seres superiores. Los productos fabricados por las bacterias patógenas se manifiestan en general con un poder tóxico extraordinario; éstas son las *toxinas*, y hoy se tiende á buscar con algún fundamento la acción de estas bacterias en las propiedades de sus toxinas. La difteria y el tétanos son de los ejemplos más típicos de esta acción. El foco de infección más limitado, reducido con frecuencia á una insignificante úlcera ó una pequeña falsa membrana, produce, sin embargo, sus efectos sobre todo el organismo, sólo explicables por la difusión de las sustancias tóxicas mediante la vida sanguínea.

Estos productos nocivos de las bacterias, de un estudio muy delicado, son todavía poco conocidos. Se sabe, sin embargo, que pertenecen á dos grupos: las ptomainas, cuyas propiedades las aproxima á los alcaloides naturales, como la estricnina y la quinina, y las toxalbúminas, cuya composición y propiedades hace que se consideren como materias albuminoideas. Estas propiedades son muy singulares, y la más característica es su poder tóxico, por decirlo así ilimitado. Cantidades iguales á una fracción de millonésima del peso de un animal bastan para matarle. Son muchos los productos importantes de las bacterias, y acaso las toxalbúminas son los primeros en interés. Parece que actúan, no como verdaderos venenos, como la estricnina, sino como fermen-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tos que fabrican en el organismo la verdadera toxina ó hacen que la produzca este organismo por sólo su presencia. Para presentar un ejemplo de ello, la toxalbúmina del bacilo del tétanos, inyectada en un animal, exige un período de incubación antes de que aparezcan sus efectos; la dosis inyectada puede ser todo lo infinitesimal posible, como si esta condición fuese secundaria; la acción tóxica depende mucho de la temperatura; por último, se halla en el animal intoxicado un verdadero veneno que no tiene enteramente los mismos caracteres, pero que es inmediatamente tóxico. Suceden, pues, los hechos como si se tratase de un fermento. Al lado de estos productos solubles eminentemente tóxicos, parece ser que se han hallado otros de propiedades inoculadoras y predisponentes; es decir, que inyectados en un animal colocan sus órganos en estado de resistir á la acción ulterior del mismo microbio, ó, por el contrario, le hacen menos resistente á esta acción. ¿Cuál es la composición de estas toxalbúminas? ¿Son todas ellas segregadas por los microbios ó algunas simples modificaciones de los medios de cultivo de éstos? Estas sustancias, ¿son verdaderamente inorgánicas, como un veneno cristalizado, ó son, por el contrario, vivientes, dotadas de propiedades vitales particulares que les pertenecen en propiedad y las colocan en un lugar intermedio entre los seres más sencillos dotados de vida y las sustancias químicas?

Son todas estas cuestiones apenas formuladas y á las que no podríamos, en una obra de esta índole, dar mayor desarrollo. Hay un hecho cierto, y es que, dada una bacteria patógena, será necesario preocuparse, no sólo de esta última, sino de los productos que fabrica, y si puede un filtro, á pesar de su pequeñez, retener la célula figurada que la constituye, ó es del todo impotente por la simple acción mecánica de sus poros para retener el producto segregado, la toxalbúmina nociva.

Las bacterias patógenas que se encuentran en las aguas potables, sin que su pureza aparente sea por lo menos una garantía, no se hallan entre las menos peligrosas. Se puede encontrar en ellas el bacilo del carbunco, el del cólera, el de las gallinas, el bacilo piociánico, el bacilo de la tuberculosis, diversos micrococcos y estafilococcos; por último, el bacilo de la fiebre tifoidea y del cólera. Se presentan cierto número de cuestiones, y es cómo estos microbios se encuentran allí, en qué cantidad y cómo pueden reconocerse.

El agua recorre en el globo un verdadero circuito; se halla su-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

cesivamente al estado de vapor acuoso, de lluvia, de agua corriente ó de infiltración, y así sucesivamente. Su riqueza microbiana varía dentro de límites considerables, según los puntos de este circuito, y puede reducirse á 0 para el agua de la capa subterránea y de las fuentes cuando la disposición del suelo no permite que se ensucie. A medida que el agua corre por la superficie de la tierra enriquece su flora bacteriana, y el agua del mar contiene gran abundancia de estas bacterias. No cede cási nada de ellas á la atmósfera, sobre todo si está en calma. Para una segunda vez el agua es aséptica y se mantiene en tal concepto bajo la forma de nubes. No sucede lo mismo cuando el agua cae en forma de lluvia, porque entonces se carga de muchos gérmenes de la atmósfera. La lluvia es, pues, un origen variable, pero cierto, de contaminación de las aguas potables.

El agua, al correr por el suelo, se impurifica más y más, hallándose todas las bacterias de este último en la superficie, y continúa de este modo hasta que llega finalmente al mar La parte que se infiltra en el suelo para alimentar las aguas subterráneas experimenta con este hecho una filtración activa y resulta completamente privada de microbios á 5 metros de profundidad, abstracción hecha, bien entendido, de las grietas de la capa filtrante. Esta esterilización se hace, ya por falta de oxígeno, ya por retención mecánica. De cualquier modo, el depósito subterráneo es puro desde el punto de vista microbiológico. Por dos veces, pues, el agua se contamina y purifica, enseñándonos de esta suerte los procedimientos que podemos aplicar: destilación y filtración.

El número de bacterias contenidas en un agua es en extremo variable y no presenta relación alguna con la proporción de materia orgánica, la estancación ó movimiento del agua ni aun su oxigenación. La flora microbiana puede, bajo estas diversas condiciones, cambiar en cuanto á las especies, no en cuanto al número. He aquí algunas cifras que dicen más que toda descripción. Expresan el número de microorganismos que viven en un centímetro cúbico de agua.

Vapor de agua atmosférica.	1
Agua de lluvias, Montsouris.	4
— de Gennevilliers..	12
— del Vanne en Montrouge.	120
— del Sena en Choisy.	300
— — en Bercy.	1 400
— de alcantarilla en Clichy..	6.000 000
— — en Berlín..	38 000.000

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

El agua del Vanne, tomada en su origen, no contiene microbios; cuando llega á París tiene 48 por centímetro cúbico, 125 en el depósito de Montrouge después de diez horas de permanencia, 38.000 después de veinticuatro horas, 125.000 después de cuarenta y ocho y 590.000 al cabo de setenta y dos. Esta pululación es fácil de comprender si se reflexiona en el modo como se reproducen las bacterias, que se dividen simplemente en dos ó en muchos fragmentos, los cuales hacen lo propio cuando han llegado á la longitud primitiva. Hecho esto, la progresión 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, conduce rapidísimamente á las formidables cifras que ya se conocen. Hay, sin embargo, un límite: las bacterias se destruyen después de cierto tiempo de reposo y caen al fondo de los depósitos. Así es que un agua ha podido pasar por los estados siguientes:

Después de veinticuatro horas.	10.500
— de cuatro días.	315.000
— de diez días.	300 000
— de un mes.	129.000
— de seis meses.	95

La falta de luz y de oxígeno que depura las aguas con el reposo en los depósitos es ya conocida desde hace mucho tiempo, y es una frase admitida entre los marineros «que el agua debe haber estado tres veces podrida para ser buena».

De la misma manera las aguas corrientes se depuran al aire libre, una parte de sus materias orgánicas quemándose en contacto del oxígeno, ya por las plantas é infusorios que se desarrollan en ellas, ya por el movimiento de las aguas que el viento eleva ó la precipitación de una parte de las materias sólidas, ya, por último, por la afluencia de aguas perfectamente puras que proceden de pequeños afluentes. Al mismo tiempo que las materias orgánicas desaparecen los microbios. El Isar, que atraviesa Munich, no tarda más que ocho horas en despojarse de las cinco sextas partes de sus gérmenes. A la acción nociva de la luz y del oxígeno, al arrastre mecánico por los sedimentos, hay que agregar otra causa poderosa: la concurrencia vital que se hacen entre sí las diversas especies de microbios; concurrencia en la cual las especies aerobias concluyen en general por prevalecer, produciendo la muerte de las anerobias. Pero las anerobias son en general especies inofensivas.

Por lo demás, se oberva que un agua muy cargada de micro-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

bios no contiene sino las últimas especies, cuya ingestión no produce en general perturbación alguna en el organismo. Aun conteniendo especies patógenas no son fatalmente nocivas, y el organismo no se deja invadir por ellas sin lucha y con frecuencia resiste victoriosamente á la infección; por último, digiere con facilidad las bacterias, no tiene acción sobre los *esporos* reproductivos, pero rara vez han podido éstos formarse en el agua contaminada. Se sabe que los esporos de las bacterias son porciones de su sustancia, cuyo protoplasma se aisla, se condensa y se rodea de una cubierta resistente. En este estado, el esporo así formado puede atravesar sin morir los momentos difíciles: privación de oxígeno, temperaturas excesivas, elevadas ó bajas, privación de agua ó de alimentos que comprometen la existencia de la especie. Aun desprovistos de esporos, los microbios resisten perfectamente al frío, y el de la fiebre tifoidea en particular permanece vivo aun después de seis meses de congelación.

El extenso examen que acabamos de hacer de las propiedades de las aguas potables nos lleva, pues, á estas conclusiones: para apreciar el valor higiénico de un agua determinada es necesario buscar qué cantidades de sales, materias orgánicas y gas tiene en disolución; debe seguir al análisis químico su ensayo bacteriológico, pudiendo éste alterar en totalidad las conclusiones que ha suministrado el análisis en presencia de los gérmenes patógenos hallados en el agua (1).

(1) Las condiciones que en general debe tener un agua para considerarla potable son: perfecta transparencia, inodora, fresca, insípida, con una cantidad de sales que no llegue á una milésima, que tenga aire en disolución, sin sustancias orgánicas, disuelva perfectamente el jabón y cueza las legumbres. Evaporada á sequedad, no debe dejar más residuo en la cantidad de 1 litro que 5 decigramos de sustancia sólida. La cantidad de aire que debe tener en disolución son 25 centímetros cúbicos por litro. (Véase *Higiene del agua*, folleto, por el doctor D. Joaquín Olmedilla, Madrid, 1892)

Los microorganismos que suele contener el agua son: bacterias correspondientes á diversos *micrococcus*, *diplococcus*, *streptococcus*, *sarcinas*, *bacillus*, *spirillum*, *leptothrix* y otros.

El agua del Lozoya, que surte en gran parte á Madrid, contiene, según un análisis practicado por el catedrático de química doctor Puerta en 1884, 28 centímetros cúbicos de gases, compuestos de oxígeno, ázoe y anhidrido carbónico; 58 centigramos de sales (cloruros y sulfato de sodio, calcio y magnesio); mínima cantidad de sílice; indicios de nitritos, y 1 á 2 centigramos de materia orgánica, formada de *micrococcus* y *diplococcus*. Resultan de 1.300 á 1.400 bacterias por centímetro cúbico de agua. (Véase la obra de *Química inorgánica* del doctor Puerta.) *(N. del T.)*

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LAS AGUAS POTABLES

El análisis químico de un agua empieza por la valoración de los productos alterables y en primer término de las materias orgánicas. Se valoran determinando la cantidad de oxígeno que pueden ceder con la ebullición á una solución de sal que desprenda fácilmente este cuerpo, el permanganato de potasa, bien conocido por el precioso matiz violado de sus cristales.

Se prepara una solución á 0,50/1.000 de permanganato y se ensaya previamente, á fin de que se descolore por un volumen igual de una solución normal de ácido oxálico. Se sabe que á cada centímetro cúbico de líquido de ensayo corresponden $0^{mg},1266$ de oxígeno.

Se opera, ya sea en solución ácida, habiendo añadido al agua que se va á ensayar ácido sulfúrico diluído en la proporción de 1/10, ya en solución alcalina, estando reemplazado el ácido por el bicarbonato sódico. Se añade el permanganato en exceso y se hierve. Después del enfriamiento se adiciona un volumen determinado de una solución de sulfato ferroso amoniacal. Si existe en el agua analizada un exceso de permanganato que no destruye las materias orgánicas, este exceso actuará como oxidante sobre la sal ferrosa. Bastará, pues, valorar el exceso de hierro no oxidado para saber por diferencia la cantidad de permanganato empleado y el que han descompuesto las materias orgánicas.

Los resultados de este análisis no prejuzgan gran cosa, bajo el punto de vista de la potabilidad del agua. Resulta, sin embargo, de gran número de análisis efectuados en las condiciones más variadas, que se deben tener por sospechosas las aguas que reducen el permanganato más bien en solución alcalina que en solución ácida. En un 85 por 100 de los casos va, en efecto, esta circunstancia acompañada de la presencia de materias animales putrefactas y de microbios patógenos, bacilo tífico, bacilos diversos, cromógenos, estafilococo piógeno, etc. No hay que olvi-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

dar, por otra parte, que el agua muy pobre en materias orgánicas contiene con frecuencia el bacilo tífico ó algunas asociaciones microbianas peligrosas.

Para la valoración del oxígeno disuelto, Gerardin, cuyas investigaciones sobre las aguas ya hemos citado, ha ideado un procedimiento práctico y rápido, fundado en la siguiente reacción: una solución de bisulfito de sosa en contacto del zinc se transforma en hidrosulfito sódico, compuesto muy ávido de oxígeno.

Se coloca en frascos anchos bien tapados granalla de zinc y se vierten en ella 2 ó 3 centímetros cúbicos de una solución de bisulfito. Se llenan de agua común y se cierran con un tapón de caucho, que deja salir el exceso de agua por un orificio central, y se tapa éste con una varilla de vidrio. Al abrigo del aire se forma hiposulfito.

Se tienen algunos bocales de la capacidad de un litro, que se llenan en el sitio de la experiencia con el agua que se va á ensayar, evitando toda agitación. Se vierte un centímetro cúbico próximamente de una solución de azul Coupier ó de carmín de índigo y se cubre con una ligera capa de aceite.

Se hace entonces un ensayo de descoloración, operando sobre una solución de sulfato de cobre amoniacal y sobre el agua que se va á ensayar. Una y otra se descoloran por el hidrosulfito, y como se sabe que 5 centímetros cúbicos de la solución cúprica corresponden á 1 centímetro cúbico de oxígeno, la comparación entre los volúmenes de hidrosulfito consumidos por una y otra parte suministra fácilmente el valor en oxígeno de un litro del agua ensayada.

Hoy generalmente se prefiere servirse del procedimiento por el permanganato. Se tratan 100 centímetros cúbicos de agua por una solución de sulfato ferroso amoniacal, que se oxida á expensas del oxígeno del agua y se tratan del mismo modo 100 centímetros cúbicos, impidiendo la oxidación de la sal ferrosa por la adición de ácido sulfúrico. Valorando el hierro en los dos líquidos con el auxilio del permanganato se sabe qué cantidad está combinada con el oxígeno, y por consiguiente la proporción de éste. Los múltiples análisis efectuados en este concepto han confirmado las ideas de Gerardin, hallándose la cantidad de oxígeno en relación con la cantidad de la flora y fauna de las aguas y con su potabilidad.

Cuando un agua de fuente contiene, con materias orgánicas

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

abundantes, pocos nitratos y oxígeno disueltos, hay motivo para creer que sea muy sospechosa.

Se determina después del oxígeno las materias minerales azoadas, amoníaco, nitratos y nitritos. El amoníaco se aprecia por el reactivo de Nessler, solución alcalina de ioduro de potasio y c'o uro mercúrico.

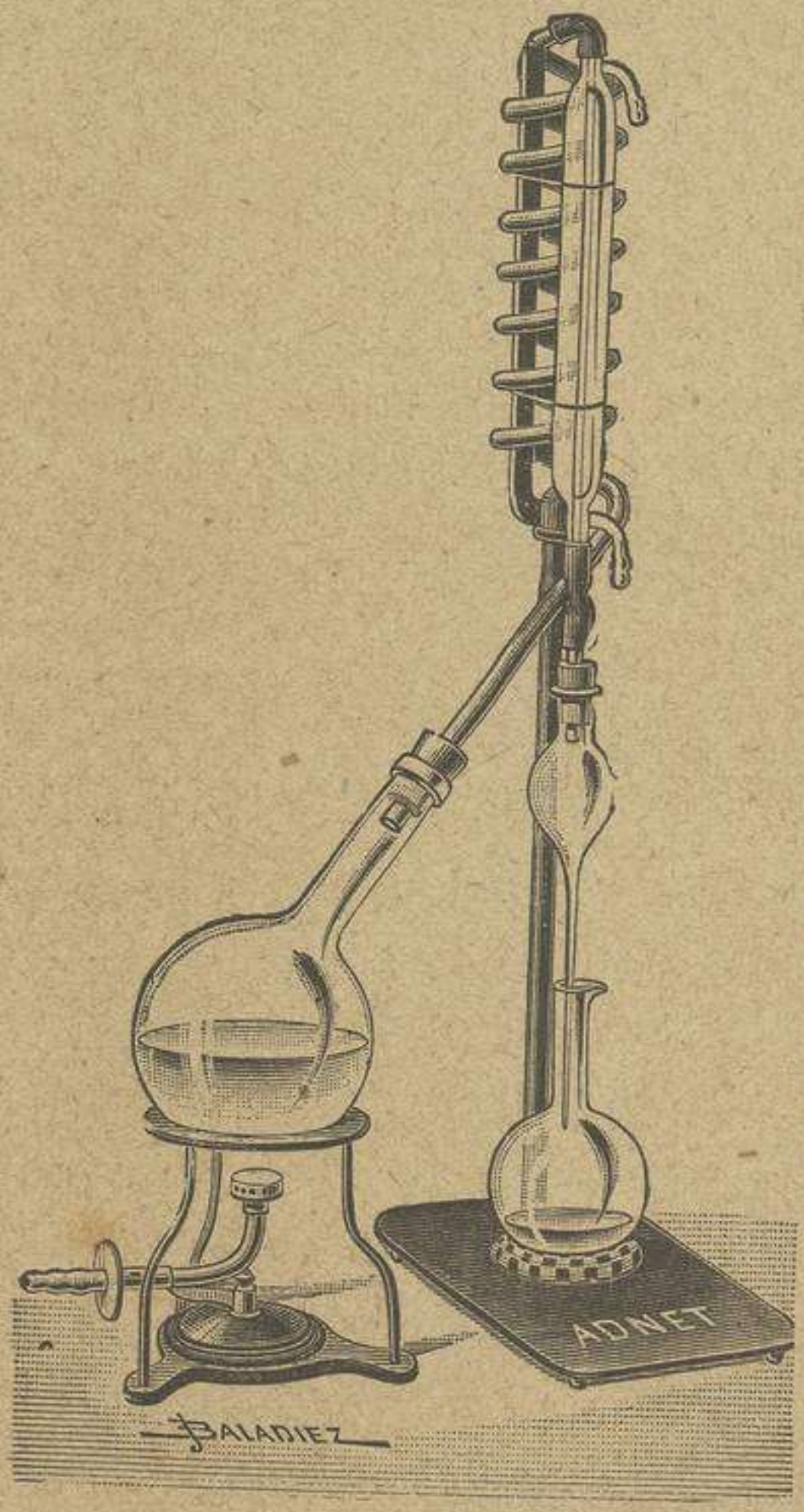


Fig. 1.—Aparato Schlæsing para la determinación del amoníaco.

Para reconocer simplemente la presencia del amoníaco se opera sobre 250 centímetros cúbicos por ebullición, que se compara con el agua destilada tratada de igual modo. Se forma un ligero precipitado amarillo, más ó menos coloreado. Se puede determinar por destilación, eliminando el amoníaco por una base y recibiendo en un líquido ácido valorado el álcali que destila. El residuo de la destilación tratado por la sosa desprende, al estado de amoníaco, el ázoe de las sustancias albuminoideas, que se puede valorar del mismo modo.

Los nitritos ofrecen muy poco interés; en cuanto á los nitratos, se valoran por medio del reactivo sulfofénico, mezcla de 12 gramos de fenol cristalizado y de 144 gramos de ácido sulfúrico. Se tratan comparativamente 10 centímetros cúbicos del agua que se va á ensayar y 10 centímetros cúbicos de una solución valorada de nitrato de potasa puro que se evapora á sequedad. Se añade á cada residuo un centímetro cúbico de reactivo, un poco de agua destilada y amoníaco. Los nitratos hacen pasar el reactivo al estado de picrato de amoníaco de color amarillo intenso, proporcional á la cantidad presente

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

en el agua, y que se aprecia con el auxilio de un colorímetro especial.

El ázoe puede, pues, estar presente bajo la forma de nitrato amoniacal, albuminoide y nítrico. El primer caso indica en general la salida de agua por las orinas ó materias fecales, que contiene urea ó sus derivados, ó por la putrefacción de las materias albuminoideas. En cuanto al ázoe nítrico, es generalmente una buena señal del valor filtrante del terreno. Se sabe que en éste viven bacterias nitrificantes que tienen la propiedad de producir nitratos á expensas de los compuestos amoniacales. Si se encuentran, pues, nitratos en un agua potable, se podrá deducir de aquí que el terreno en el que se ha realizado, independientemente de su valor mecánico de filtración, posee la propiedad de hacer inofensivas las materias azoadas que proceden de los detritus que ha recibido su superficie.

El ázoe albuminoide siempre tiene que investigarse cuando se halla un valor elevado en materias orgánicas y contiene ázoe amoniacal. Esta forma del ázoe, correspondiente ya á los organismos vivientes, ya á las amidas complejas, es la más peligrosa é indica frecuentemente la impurificación de las aguas por especies patógenas.

Hechas estas investigaciones en el agua que se analiza, se pasa al examen de los compuestos minerales y se determina primero el residuo qne ha dejado, después de la evaporación y desecación á 110°, un litro de agua. Se calcina al rojo este residuo y se determina la pérdida de peso que experimenta por la destrucción de las sales amoniacales, de las materias orgánicas, de una parte de los nitratos y de los cloruros. En el residuo se pueden valorar diversos elementos minerales. Se disuelve en ácido clorhídrico y se echa sobre un filtrito; la sílice insoluble queda en éste y se pesa después de la incineración. En el líquido filtrado se precipitan la albúmina y el óxido de hierro por el amoníaco, y se aprecia su peso por filtración y desecación del precipitado.

La cal se valora en el segundo líquido filtrado, adicionado de las aguas de loción del precipitado, precipitándola por el oxalato amónico. El precipitado de oxalato de cal se transforma en carbonato por la calcinación y se pesa.

Se valora la magnesia al estado de fosfato amónicomagnésico en el líquido restante.

El ácido sulfúrico se encuentra con frecuencia en las aguas de lluvia procedentes de los grandes centros industriales; algunas

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

corrientes de agua procedentes de los terrenos volcánicos contienen grandes proporciones de él. Se le puede valorar al estado de sulfato de barita por la adición de cloruro de bario.

El cloro de los cloruros se determina por el nitrato argéntico. Se forma cloruro de plata insoluble, y se aprecia el final de la operación por la coloración amarilloanaranjada que toma el cromato neutro de potasa, cuando está todo el cloro al estado de sal de plata.

Se da el nombre de *hidrotimetría* á la investigación en las aguas de las sales calizas que las hacen *crudas* ó *duras*, lo que indica con bastante inexactitud este nombre pretencioso. El método fué ideado hace ya tiempo por el químico inglés Clark; se introdujo en Francia con algunas pequeñas modificaciones por Boutron y Boudet, cuyo nombre lleva. Se funda en el hecho bien conocido de que las aguas crudas no disuelven bien el jabón. La solución de jabón en el alcohol da con el agua destilada una espuma persistente é inmediata. Si, por el contrario, se opera con un agua que contenga sales calcáreas, la espuma persistente no se produce al principio; será necesario previamente precipitar dichas sales por una cantidad correspondiente de jabón, transformándolas en jabón calcáreo insoluble.

El licor de prueba se hace disolviendo 100 gramos de jabón de Marsella desecado en 1.600 gramos de alcohol de 96°, y añadiendo después á la disolución 1.000 gramos de agua destilada. Esto produce una solución jabonosa á 1/27, de conservación bastante difícil y que es preciso frecuentemente volver á valorar.

Para esto se prepara una solución que contiene por litro de agua destilada y hervida 0gr,25 de cloruro de calcio ó 0gr,59 de nitrato de barita, y se introducen 40 centímetros cúbicos de esta solución en un frasco á propósito con tapón esmerilado.

Hay además una bureta estrecha, que lleva en su parte superior un trazo y por bajo la cifra 0, seguido de una graduación regular en centímetros cúbicos. La distancia entre el trazo y el cero indica la cantidad de agua de jabón que exigen 40 centímetros cúbicos de agua destilada para producir una espuma persistente por lo menos diez minutos, cantidad que no es enteramente despreciable y no podría atribuirse á las sales calcáreas.

Si el líquido jabonoso está bien preparado, se debe, cuando se vierten 22 centímetros cúbicos de él en el frasco antes citado, obtener una espuma persistente. Es evidente que siempre se puede

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

corregir este resultado en el caso en que la alteración del licor no lo suministrara con exactitud.

La graduación de la bureta es tal, que un grado indica un decigramo de jabón precipitado por litro de agua.

Si, pues, en el frasco de ensayo se reemplaza la solución valorada por el agua que se va á ensayar, y se añade hasta la pro-

Fig. 2.—Estuche hidrotimétrico.

ducción de espuma persistente el líquido jabonoso, la cifra que se leerá en la bureta indicará la cantidad de jabón precipitado, que se llama el *grado hidrotimétrico* del agua de que se trata. He aquí algunos resultados, marcando 0° el agua destilada:

Agua de Allier	3°,5
— del Loire	5°,5
Pozos de Grenelle	9°
Agua de la Somme	14°
— del Rhône	15°
— del Sena en Ivry	15°
— — en Chaillot	23°
— del Marne	10 á 23°
— del Ourcq	30°
— de Arcueil	28°
— de los Prados de San Gervasio	72°
— de Belleville	128°

Por cima de 60° las aguas resultan impuras para todo uso, las aguas potables no deben marcar más de 30°.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

El año 1868 (1) se publicaron los resultados de diferentes ensayos hidrotimétricos de varias aguas de Madrid, practicados por el entonces catedrático de Análisis química aplicada á las ciencias médicas D. Manuel Rioz, que se insertan á continuación:

	Grados hidrotimétricos.
Agua destilada	0°
— del Lozoya.	3°
— del Manzanares..	6°
— del viaje de Amaniel (Tr. de la Cruz Verde).	12°
— — del Abroñigal Alto (Pontejos).. . .	16°
— — de la Plazuela de las Descalzas.. . .	17°
— — de la fuente de la Teja.	17°
— — de Alcubilla (Madera Alta).	18°,5
— — del Abroñigal Alto (Pósito).	20°
— — de la Castellana (Galápagos)	23°
— — de la fuente de San Isidro.	23°
— — de la fuente de la Salud (Retiro). . .	24°,5
— — de la fuente del Berro.	26°
— — de la fuente de la Montaña..	30°
— — de la fuente del Pozo.	68°

De este modo pueden apreciarse groseramente los diversos elementos que hacen el agua calcárea. Para esto es necesario practicar cuatro operaciones sucesivas:

1.ª Determinación hidrotimétrica total.

2.ª Valoración después de haber precipitado la cal por el oxalato amónico, y el resultado se debe, según Boutron y Boudet, á la magnesia y al ácido carbónico.

3.ª Valoración después de la ebullición, que precipita los carbonatos retenidos en disolución por el ácido carbónico.

4.ª Valoración, en fin, después de actuar el oxalato amónico.

Pueden formarse tablas que indiquen, según el grado que haya en cada caso, la proporción de sal extraña correspondiente.

El método de Boutron y Boudet presenta bastante número de causas de error, que en manos poco prácticas producen grandes diferencias en el ensayo de una misma agua. La lectura varía según la rapidez con que se vierte el jabón; con algunas aguas se produce una falsa espuma con la saturación, que podría tomarse por la verdadera; hay necesidad de restar del número leído un ligero exceso de licor, siempre empleado de sobra y va-

(1) Adición del traductor. Véase compendio de *Química inorgánica* del doctor Olmedilla. Madrid, 1872.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

riable según cada observador; por último, hay exposición de encontrar en el comercio líquidos jabonosos que hagan variar el valor de una división de la bureta de 0°,9 á 1°,2.

Hace ya mucho tiempo que la mayoría de los principios que pueden hallarse en las aguas se han encontrado por el análisis. La determinación del ázoe albuminoide es una conquista reciente, y parece debe ocupar con el análisis bacteriológico el lugar preponderante que tenían en otro tiempo los caracteres organolépticos. La sencilla fórmula por la cual en otro tiempo se apreciaba la calidad de un agua ha pasado á segundo término, y ningún químico se atreve á formular su opinión en semejante caso, si no apoya su diagnóstico en la determinación de los gérmenes bacterianos.

No es que no puedan hacerse muchas objeciones á este complemento de información, y los químicos, faltos ya de su primer prestigio, no han dejado de formularlas. Puesto que en el gran número de bacterias del agua hay solamente algunas especies patógenas, importa poco la numeración englobada de estos organismos, y el análisis bacteriológico no ofrecerá gran seguridad si no distingue de una manera precisa los buenos de los malos microbios. Mil bacterias por centímetro cúbico de un agua no prueban que sea nociva; 10 bacterias en otra la harán muy peligrosa si se trata del bacilo tífico. ¿Puede clara y seguramente hacerse este diagnóstico? Como para dar fuerza á esta objeción, se encuentra que el principal culpable, el bacilo tífico, se parece extraordinariamente á otro microbio que todos llevamos en el intestino ordinariamente, *bacillus coli commune* ó colibacilus. La cuestión acerca de su identidad ha consumido mucha tinta; el número de memorias acerca del asunto pasa acaso de mil, y la nueva querella de los unicistas y dualistas no parece hallarse próxima á terminar. Muchos autores afirman (1), con excelentes ra-

(1) Miquel consigna los siguientes datos respecto al número de bacterias y pureza de las aguas, clasificándolas con los nombres que copio:

	Por centímetro cúbico.
Agua muy pura.	10 á 100
— pura.	100 á 1 000
— medianamente pura.	1.000 á 10.000
— impura..	10.000 á 100.000
— muy impura..	Pasan de 100.000

(N. del T.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

zones, que se trata del mismo bacilo, pero que éste en determinadas circunstancias puede resultar muy nocivo ó quedar inocente de todo perjuicio; en otros términos, su virulencia varía enteramente. Otros discuten, con no menos excelentes razones, que se trata de dos especies muy próximas, pero siempre reconocibles.

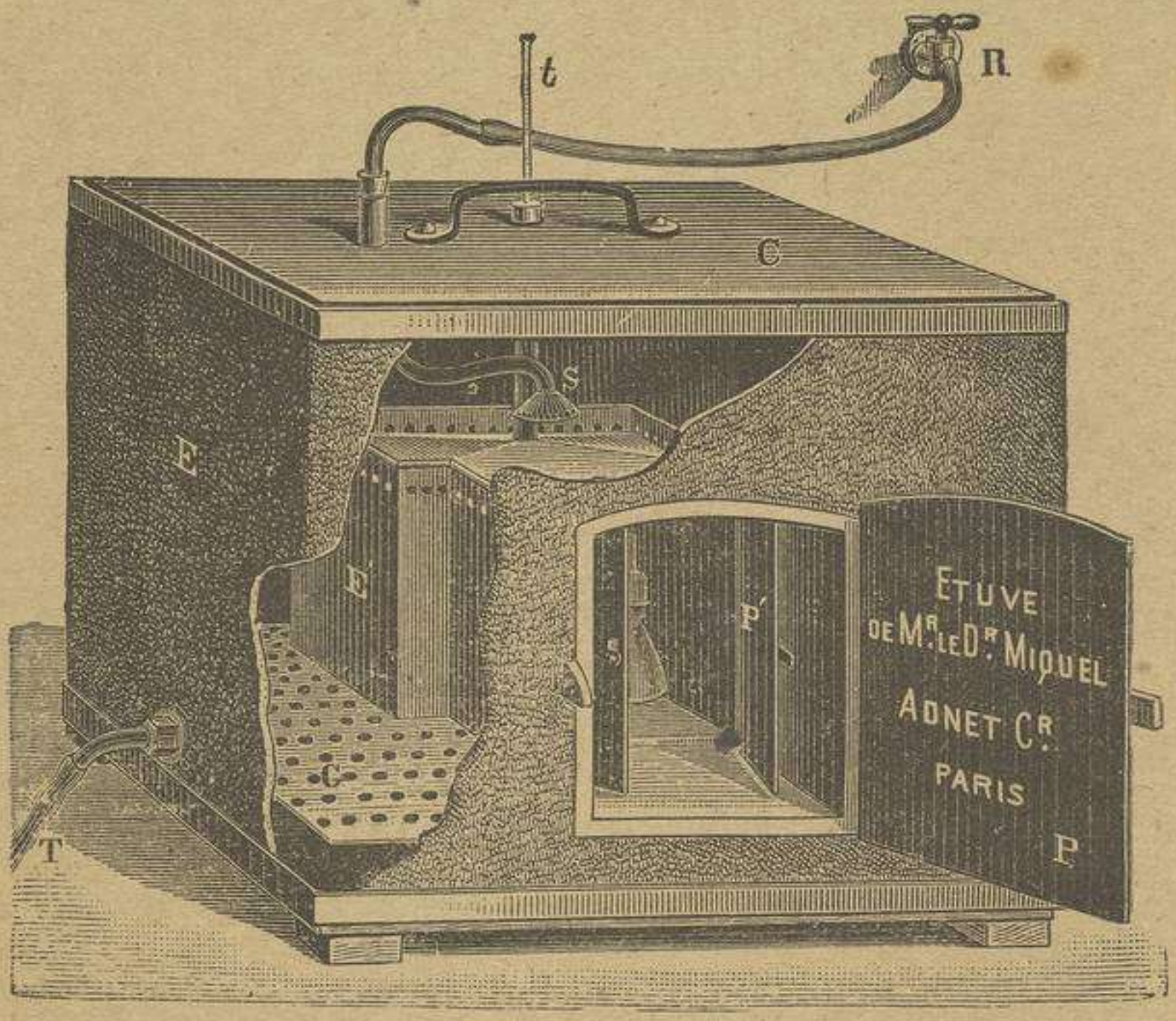


Fig. 3.—Estufa del doctor Miquel para conservar las aguas á una temperatura de cero.

Este ejemplo demuestra cuán delicado es el análisis cualitativo de los microbios del agua. Es necesario, en absoluto, llegar á aislar y proliferar por separado los bacilos que se supone patógenos, valiéndose para ello de diversos artificios de cultura que favorecen su desarrollo á expensas de las otras especies. Es preciso anotar cuidadosamente las reacciones que ofrecen estos bacilos en los diversos medios en que se cultivan, y apreciar la acción fisiológica ejercida sobre los animales vivientes por el cultivo microbiano ó los productos tóxicos que puede fabricar. Estas operaciones son tanto más complicadas cuanto que no se podría en una serie única de experiencias poner en evidencia todas las bacterias del agua, y se conocen *asociaciones microbianas*

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

cuya acción es mucho más nociva que la de cada especie aislada. Es preciso añadir á esto la virulencia variable que presentan numerosas especies.

El tomar una muestra que se destine al análisis bacteriológico es una operación muy importante, pues el tiempo que transcurre entre el momento en que se toma la prueba de ensayo y su examen es bastante á provocar un aumento de bacterias que falsee el resultado cuantitativo.

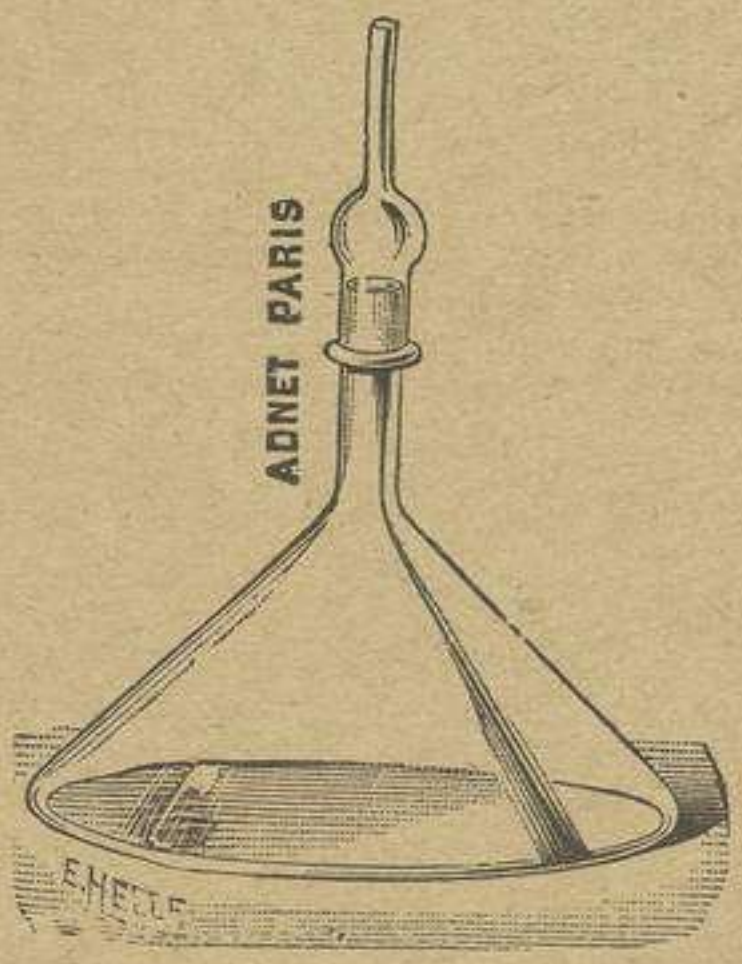


Fig. 4.—Matraz de Gayon para cultivo de ancha superficie.

El matracito en que se recibe la muestra debe estar privado de todo resto orgánico por medio de una loción con ácido sulfúrico. Se llena completamente del agua que se va analizar, y se quema el tapón á la llama de una lámpara de alcohol.

Se toma otra segunda muestra por medio de un tubo cilíndrico que se ha enrojecido previamente y cerrado á la lámpara, haciendo de este modo el vacío en su interior. Se conservan las muestras en una caja enfriada á 0° mediante una doble cubierta llena de hielo.

Es necesario colocar primero los medios donde se cultiven los microbios que se supone debe contener el agua.

Son bastante variables. Se emplean sobre todo la gelatina, la gelosa, la patata y el caldo.

El medio gelatinado comprende con este cuerpo la peptona, el azúcar y la sal marina, un poco de gelosa y glicerina, todo disuelto en el agua hasta constituir una jalea.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

La gelosa ó agar-agar procede de un alga mucilaginosa y se prepara con ella un medio semejante al anterior. Uno y otro se esterilizan en la autoclava por espacio de veinte minutos, y se distribuyen con las precauciones necesarias en frascos cónicos de fondo muy ancho y plano (matraces Gayon) ó tubos de ensayo que se extienden sobre un plano inclinado, á fin de obtener después de la solidificación de la gelatina una capa muy extensa.

Los fragmentos prismáticos de patata están dispuestos simplemente en tubos de ensayo por encima de un estrechamiento de éstos. Rozándolos bajo el agua se obtiene un líquido con el cual se prepara después de la filtración un medio gelatinizado un poco ácido y adicionado de ioduro potásico. Se dispone este *medio de Elsner* en matracitos y tubos como anteriormente.

El caldo se obtiene por una maceración de carne de caballo, calentado á una temperatura de 100 á 120°; se filtra, se adiciona peptona y glicerina y se esteriliza. También se prepara un caldo fenicado á 1/1.000 y una solución de peptona á 1/50.

Se llevan por medio de una pipeta estrecha algunas gotas de agua tomada en los frascos que sirven de muestras á un tubo de gelatina liquidada al baño-maría, y después de haber mezclado todo, se vacia el tubo en una caja de vidrio (caja de Petri), ancha y plana, cubierta de otra semejante que sirve de tapa. Se hacen *siembras* en estas condiciones con un número variable de gotas de agua, y por último se añade una proporción mayor de agua de 30 á 150 centímetros cúbicos en matraces que contengan caldo, fenicado ó no fenicado. El caldo fenicado impide el desarrollo de muchas especies y deja que predomine el colibacilo y el bacilo tífico. Se hace uso de este cultivo para sembrar de nuevo una solución de peptona y un tubo que contenga el *medio de Elsner*. Este último, vaciado como anteriormente en una caja de Petri, deja desarrollar con libertad los cultivos de microbios que contiene, y cuya forma se puede apreciar al microscopio.

Lo mismo sucede con diversos matraces y cajas de Petri, donde se ha hecho la siembra directamente con el agua. Cada colonia microbiana se desarrolla aisladamente y acusa bien pronto su presencia por puntos de forma, de color y de extensión variables. Todavía es cierto que gran número de bacterias se sustraen al examen porque son muertas por las más vigorosas ó retardadas en su desarrollo.

Es fácil contar el número de puntos que representan las colonias, valiéndose, por ejemplo, de un papel cuadriculado ó de un

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

sector ennegrecido que se coloca bajo los vasos de cultivo. Se procede en seguida al examen de las colonias con un débil aumento, anotando todo carácter que pueda servir para la determinación de las bacterias. Se hace en seguida un examen más minucioso, aislando una partícula de la colonia por medio de un hilo de platino y coloreándola con una gota de fuchsina. Se emplean entonces los mayores aumentos.

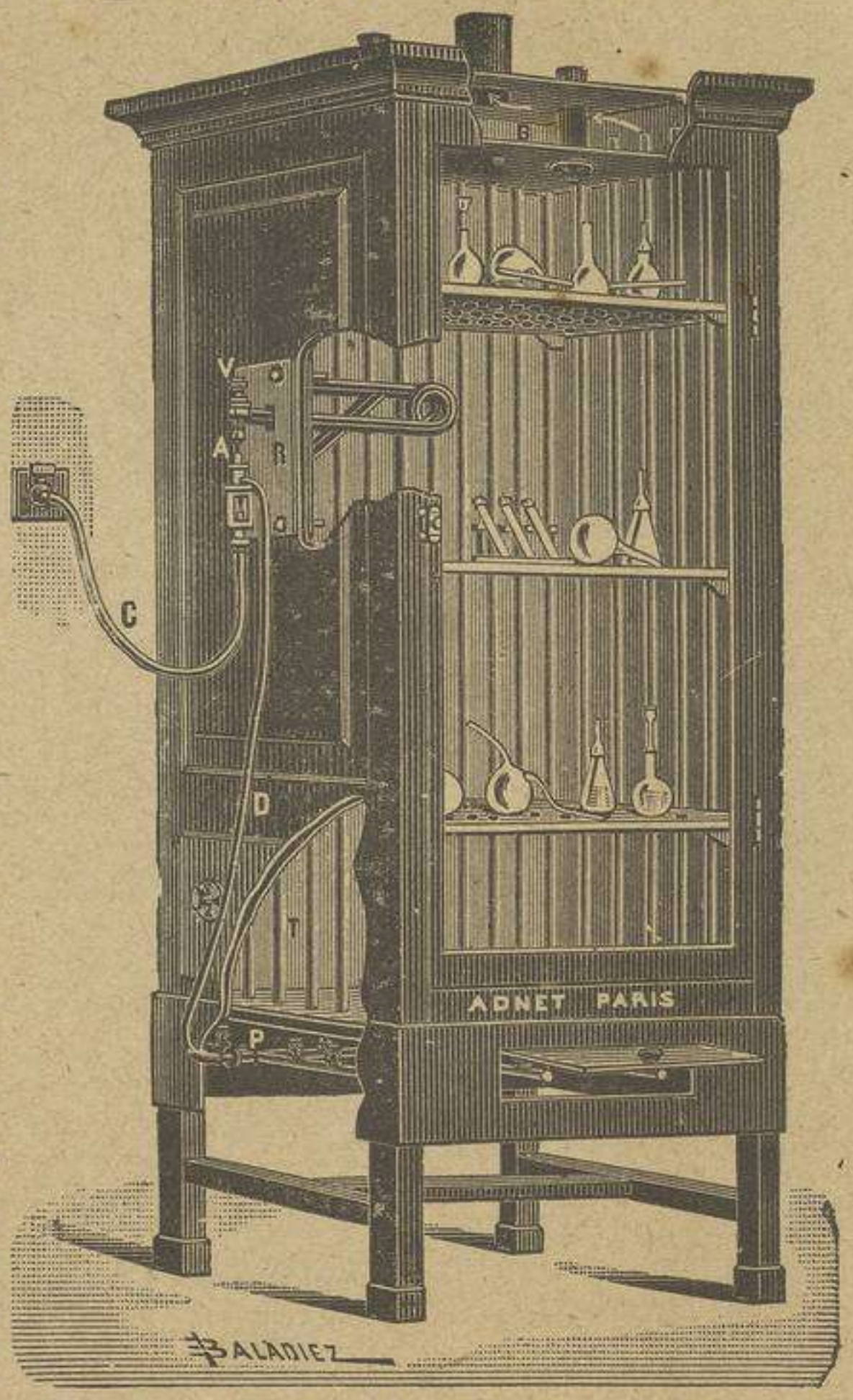


Fig. 5. — Estufa de cultivo de Schribaux.

Con mucha frecuencia el resultado de estas delicadas manipulaciones no aparece bien determinado. Muchas especies, entre las más comunes, tienen la propiedad de licuar la gelatina de los cultivos, produciendo de este modo un magma viscoso, donde es imposible toda numeración. Las bacterias, si se tienen en

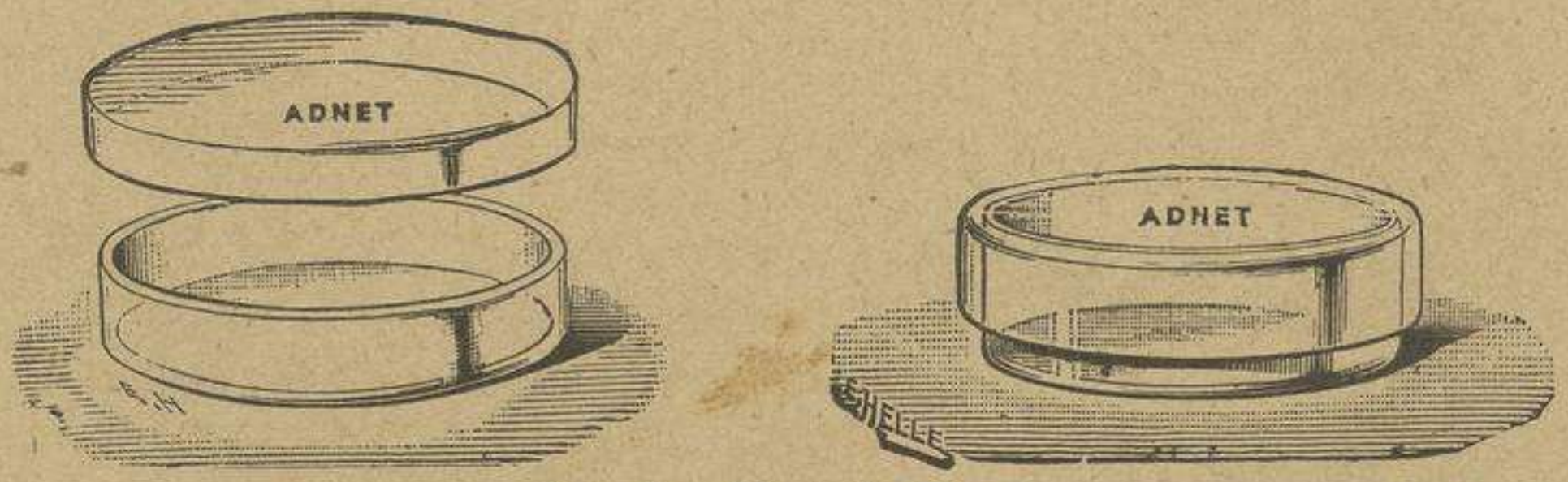


Fig. 6.—Caja de Petri.

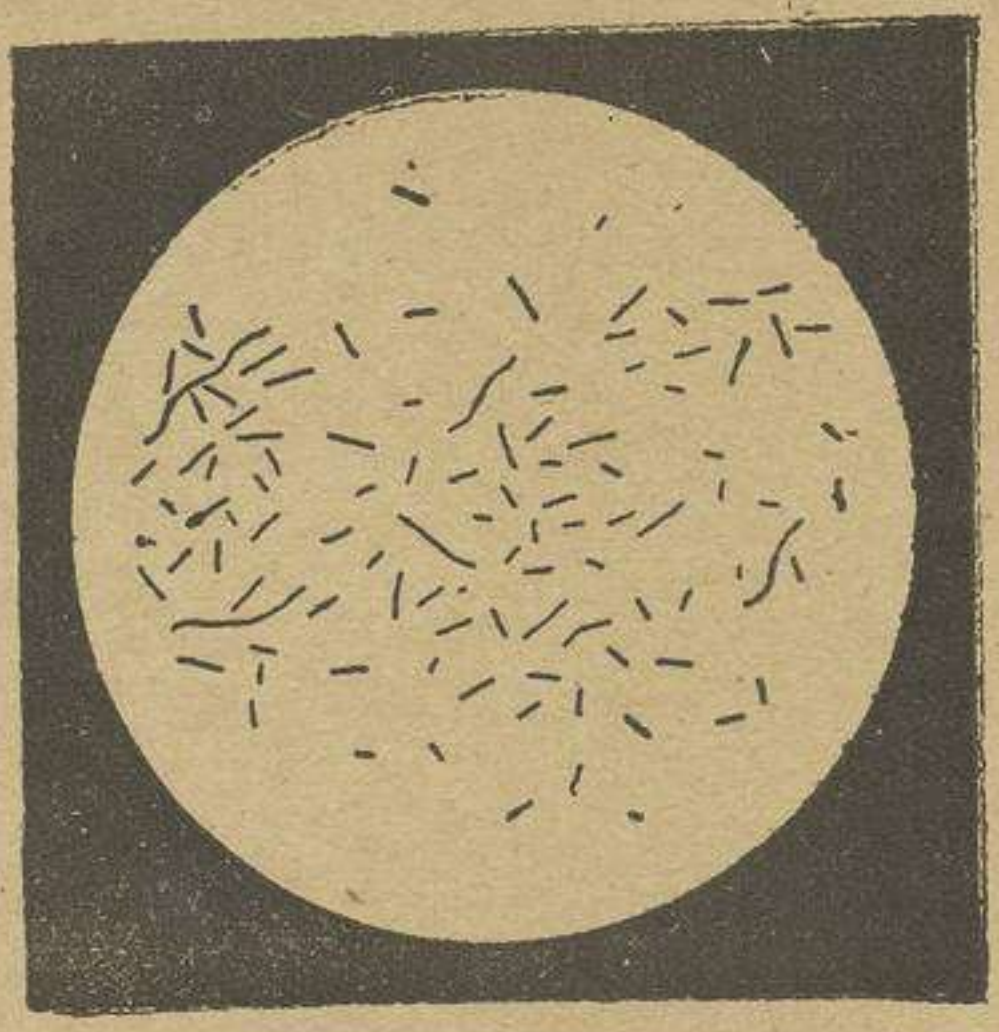
cuenta solamente sus caracteres morfológicos, son muy difíciles de distinguir, manifestando muchas especies un polimorfismo muy

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

extenso. Son precisas las indicaciones del microscopio, haciendo con las colonias dudosas siembras en medios variados, hasta que

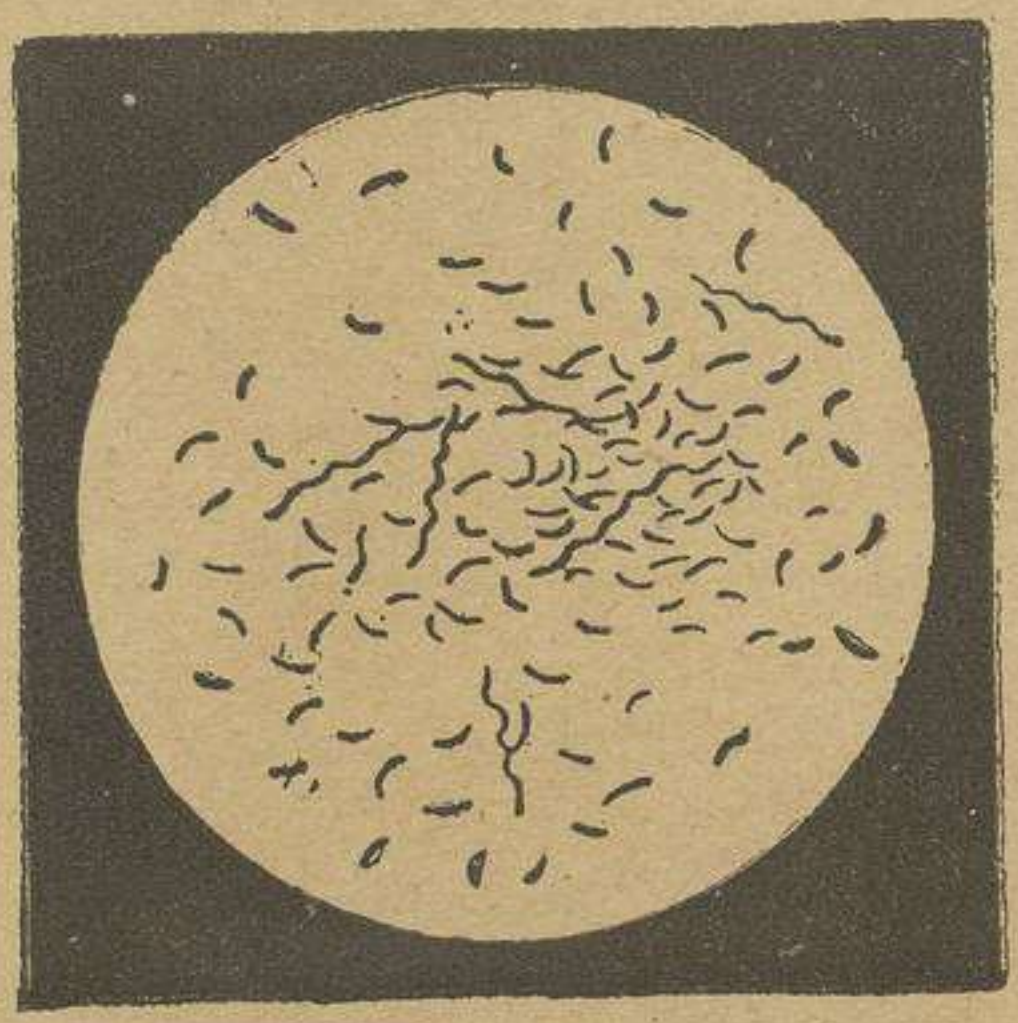
Colibacilos.

Bacilos de Eberth.



Bacilos de Eberth con mucho aumento.

Espirilos del cólera.



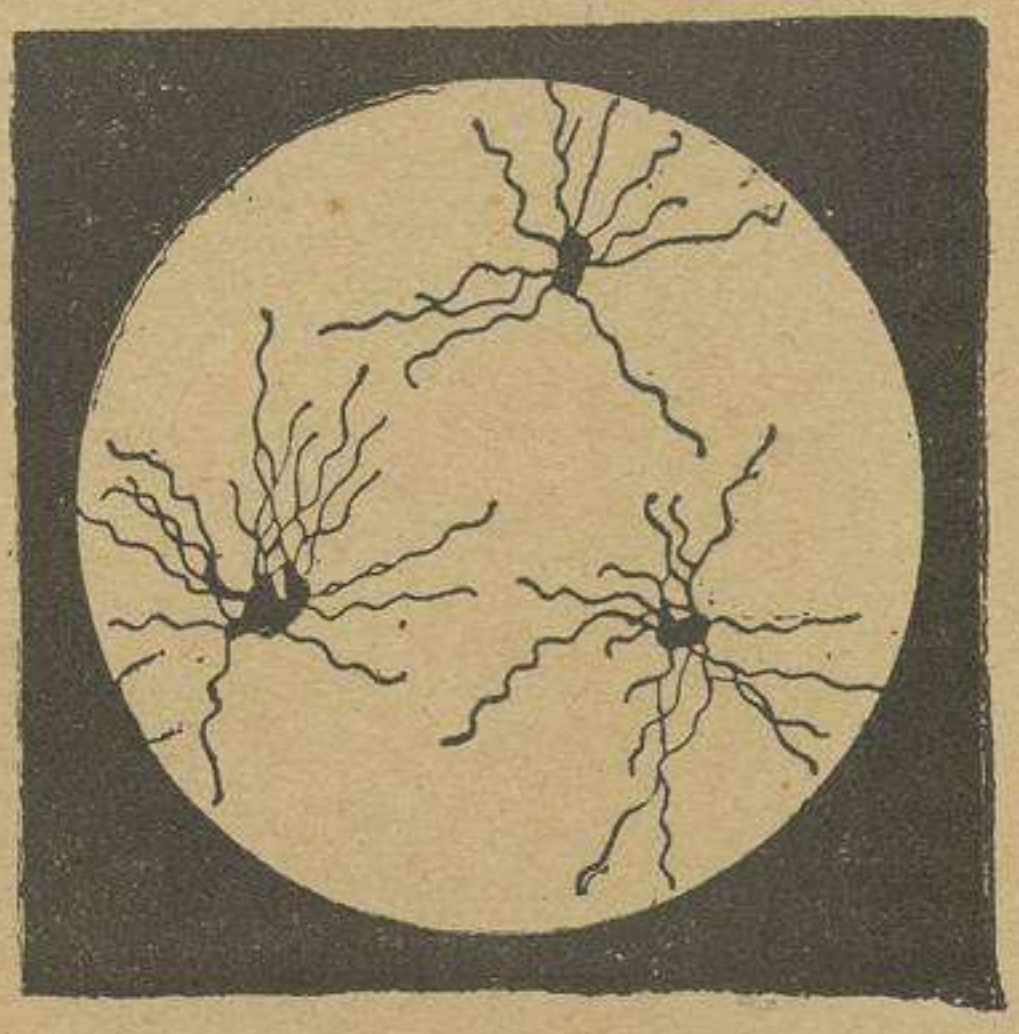


Fig. 7.—Cultivos.

se llega á fijar de un modo satisfactorio la identidad de una especie por su manera de conducirse.

Se tiene también en cuenta el olor, la reacción, el color de los

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

cultivos en el caldo no fenicado que debe cuidarse de sembrar al principio. Los bacilos tíficos y colibacilos presentan una importancia particular, que se debe tener en cuenta para ponerlos en evidencia. Hemos visto que, gracias al cultivo en el caldo fenicado, estos dos bacilos se desarrollaban poco á poco solos, cuando se trasplantaban al medio de Elsner. Ni uno ni otro liquidan la gelatina, y el bacilo tífico ó de Eberth da cultivos de un aspecto blanco grisáceo de reflejos nacarados, que se les da el significativo nombre de *montañas de hielo*. En el caso en que se suponga su presencia ó la del colibacilo, se vuelven á hacer cultivos con estas colonias sobre patata ó en la leche. El bacilo de Eberth, á la inversa de su congénere, no coagula este líquido. Es otra reacción la que permite distinguirle. Cuando se cultivan los dos bacilos en una solución de peptona, el colibacilo produce, á expensas de este cuerpo nutritivo, una sustancia azoada compleja, el indol, que colora en rojo el alcohol amílico. El colibacilo comparte esta propiedad con todas las bacterias de la putrefacción, pero el bacilo tífico no la posee.

Por último, cuando en una solución de peptona se introduce un poco de suero que proceda de la sangre de un tífico convaleciente, se presenta, en el caso en que la bacteria dudosa es el bacilo de Eberth, una clarificación del cultivo y se precipitan los microbios en el fondo. Nada parecido se produce con el colibacilo.

Entre todas las causas de error de que están llenos estos delicados procedimientos, podría suceder que fuese arrastrada la convicción del analizador. Una prueba de la virulencia de las especies microbianas la ha suministrado la experimentación fisiológica. El pobre conejito de Indias, que ha sido mil veces mártir de los más venenosos microbios, presta todavía su peritoneo al cultivo de la especie sospechosa. Las bacterias ordinarias le dejan frío; las bacterias patógenas le hacen pasar por diversos períodos, hasta la muerte inclusive. En este último caso se hace la autopsia con cuidado y se buscan en los órganos las especies que estén localizadas. El bacilo tífico y el colibacilo, que ofrecen el mayor interés, son precisamente muy difíciles de encontrar, de suerte que el resultado es con frecuencia negativo. Se vuelve á empezar con un cultivo de peptonas procedentes del caldo fenicado y convertidas en más virulentas por este tránsito. Hay mayores motivos para encontrar los bacilos sospechosos en el cuerpo del segundo conejo sacrificado, pero frecuentemente no se halla sino la inseparable asociación del colibacilo y del bacilo de Eberth,

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

sin que pueda exactamente asegurarse nada acerca de su virulencia real en el agua y con todas las reservas que implican las estrechas semejanzas que unen estas dos formas.

Por tanto, es á una gran incertidumbre á lo que conduce con frecuencia el análisis bacteriológico cuando se intenta hacer cualitativo. A pesar del número prodigioso de trabajos acerca del asunto, ó acaso por ese mismo número, sabemos muy poco sobre los microorganismos, su actividad patógena y sus variaciones, su especificación; de tal suerte, que el criterio adquirido por el químico analizador se halla lejos de ser definitivo.

Todos los datos recogidos sobre el captado, composición de los terrenos que han atravesado y epidemias de la región deben tomarse muy en cuenta.

He aquí algunas cifras que dan una idea del número de bacterias que contienen las diversas aguas que surten á París:

	Depósito.	Canalización.
Agua de la Vanne.	1.280	2.670
— de Dhuis	7.585	5.120
— del Avre.	2.880	4 380
Agua del Sena en Ivry..	46.000	
— en Austerlitz	90.000	
— en Chaillot.	294.000	
— del Marne, San Mauro..	59.000	
— del Canal del Ourcq..	72 000	
— del Drain de San Mauro	1.600	

Las siguientes cifras indican la infección progresiva del Sena á medida que atraviesa París y recoge las alcantarillas colectoras:

Corbeil	97.500
Villanueva de San Jorge..	92.800
Choisy-le-Roy.	75.200
Puerto inglés.	68.000
Puente de Austerlitz.	156.000
Puente de Alma.	370.000
Viaducto de Auteuil.	810.000
Bolonia.	366.000
Suresnes..	227.000
Neuilly.	312.000
Asnières	452.000
Saint-Ouen.	2.210 000
San Dionisio.	1.670.000
Argenteuil..	4 132.000
Poissy.	332.500
Mantes..	262.600

(Anuario del Observatorio de Montsouris.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

CAPÍTULO V

DEPURACIÓN Y FILTRACIÓN DE LAS AGUAS POTABLES

El examen bacteriológico de las aguas, si no ha cumplido todavía las promesas que hizo concebir, suministra al menos algunos datos bien fundamentados; el agua es un medio donde pueden hallarse muchos microbios, entre los cuales hay algunas especies de las más nocivas, sin que pueda hacerlo sospechar los caracteres ordinarios de las aguas potables. La conclusión que de esto se deduce es que hay que despojar de sus microorganismos á las aguas sometidas al consumo, siempre que se las crea sospechosas, ya por un análisis formal, ya por causa de próximos derrames.

Nos falta, pues, ver qué medios pueden oponerse á este grave inconveniente, muy sensible en las poblaciones donde hay que hacer uso de aguas muy impuras. Estos medios están hoy muy extendidos, tanto para la purificación colectiva de las masas de agua destinadas á los grandes centros, como para la que puede efectuarse en las habitaciones. La purificación del agua puede, por lo demás, atender al mismo tiempo á la separación de las materias en suspensión, como sucede en el caso de los usos industriales.

Los medios que pueden emplearse para privar al agua de los gérmenes que contiene son de varios órdenes. Pueden proponerse matar previamente las bacterias, ya por un agente físico como el calor, ya por una sustancia química. Por el contrario, se pueden retener simplemente por la acción de un filtro.

La acción del calor es el medio más sencillo y seguro. La ebullición prolongada durante quince ó veinte minutos mata seguramente los microbios y hace inofensivos los productos solubles que podrían fabricar, coagulando todas las materias albuminoideas. La operación se recomienda, por ejemplo, en tiempo de epidemia que se haga por la noche, que da un agua fresca y pura al día siguiente. Tiene, es cierto, el inconveniente de hacer

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

perder al agua sus gases, sobre todo el ácido carbónico y algunos de sus principios térreos, de modo que resulta pesada é insípida.

Así tratada, el agua no se priva en absoluto de todo germen microbiano, porque experiencias precisas han demostrado que los esporos bacterianos *construídos* especialmente para resistir á las causas exteriores de destrucción pueden soportar esta temperatura sin morir. No se puede tener una seguridad completa sino elevando el agua á una temperatura mayor, 120° por ejemplo. Pero se sabe que el agua no puede alcanzar este grado sino á condición de calentarse á alta presión; 120° corresponden á 2 atmósferas, 134 á 3, etc. Este solo hecho implica un aparato especial, resistente á la presión del vapor y que pueda cerrarse herméticamente; es decir, de precio elevado y no aplicable á los usos domésticos. Se ha construído con gran éxito por los señores Geneste y Herscher. El agua que se va á purificar atraviesa un serpentín, donde se eleva á la temperatura necesaria á una presión suficiente, pero que sale sin embargo del aparato fría y á propósito para beber, sirviendo su calor para volver á calentar el agua que entra.

La filtración está más generalizada. A este medio es al que de ordinario se ha recurrido siempre que se trata de separar del agua las materias, sean las que quieran, que se hallen en suspensión en este líquido.

Nos ocuparemos en primer término de las instalaciones propias de las poblaciones. La distribución del agua en las aglomeraciones urbanas no presenta muchas dificultades sino para las grandes poblaciones. Puede entonces ofrecer problemas muy complicados, porque es raro que se encuentre en el recinto de estas poblaciones el agua potable necesaria. Es necesario con frecuencia clarificar y filtrar las aguas; á veces depurarlas químicamente antes de que penetren en la complicada red de canalizaciones.

La distribución puede hacerse, ya por medio de fuentes públicas, ya á domicilio, de un modo intermitente ó continuo.

La alimentación intermitente lleva el agua á los depósitos situados en los departamentos superiores de las casas y todo el conducto se vacia en seguida. De aquí resultan numerosos inconvenientes: fugas de los depósitos, alteración del agua por el polvo que cae en ella, absorción de los gases por los conductos vacíos, insuficiencia de las cantidades distribuídas. Se ha renunciado en todas partes á este modo de proceder para sustituirle

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

por el sistema de tubos forzados, donde el agua está constantemente en movimiento sobre puntos variables de la canalización, y donde se toman directamente las ramificaciones bajo presión.

La calidad del agua que se toma es muy variable. Frecuentemente es el agua de los ríos, que, aunque se tome en los puntos donde la contaminación es menos activa, está con frecuencia impurificada. En Londres, que no se bebe más que agua de río, se toma del Támesis en un punto donde ya ha recibido las aguas que han gastado muchos millones de habitantes. Otras ciudades como Glascow, Boston, Chicago y Zurich, están alimentadas por lagos ó por depósitos naturales. provistos de compuertas, como Saint-Etienne, Nueva York, Washington y Scheffield. Otras poblaciones, peor surtidas, no tienen más que aguas de cisternas ó pozos artesianos.

Desde el punto de vista de la calidad del agua distribuída, Roma figura á la cabeza con 1.000 litros por día y por habitante. Washington con 700, Marsella con 500. París viene en seguida con 300 litros, después Alemania é Inglaterra. Madrid sólo distribuye 15 litros. Grenoble distribuye hoy tanto como Roma. Es raro que pueda distribuirse el agua tal como se recibe, y hay precisión de recurrir en casi todas partes á la decantación y á la filtración.

La decantación se aplica en Marsella á las aguas de la Durance, que atraviesan, antes de su llegada á la población, cuatro depósitos, que cada uno tiene 85.000 metros cúbicos próximamente. El depósito que allí se forma por la disminución de la velocidad del agua alcanza 35 á 40 centímetros al cabo de algunos meses, cüando se renueva. Para no necesitar tomar el agua del Támesis en el momento de sus crecidas se ha procedido en Londres á tener considerables depósitos que puedan almacenar la cantidad de agua necesaria para tres semanas. La decantación, sobre todo en estas últimas condiciones, es un medio dispendioso, que exige un tiempo bastante largo para ser completo, y además se altera el agua por la estancación prolongada. No puede servir más que de preliminar para la filtración.

Todo filtro se compondrá de materias porosas, que retendrán las partículas visibles del agua. Es inútil enumerar los muchos cuerpos que llenan esta condición, siendo su acción siempre la misma; las materias más groseras se detienen en la supercie; las más finas penetran en los canales capilares, que se obstruyen al cabo de un tiempo mayor ó menor. Se remedia en gran parte

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

este inconveniente construyendo el filtro de capas diferentes, más groseras primero, más finas después, á fin de que cada una retenga un grupo diferente de impuridades. El paso del agua pura en sentido inverso puede eliminar por lo demás una notable parte de impurezas depositadas y volver al filtro su primitiva eficacia. Por último, la filtración se favorece por la presión hasta el momento que se deja sentir por el mismo cuerpo filtrante, y resulta por este hecho nociva.

Un filtro no es sólo susceptible de efectos de separación mecánica, sino que puede ejercer acción sobre los cuerpos disueltos, minerales ú orgánicos, según la sustancia que le compone. Se hicieron ensayos en las aguas del Támesis con filtro de arena y pedernal de más de 2 metros de espesor. En una de las experiencias el filtro retuvo en 100 partes de cada una de las sustancias: materias orgánicas, 66 por 100; materias minerales en suspensión, 92 por 100, de las cuales 3 son de cal. El filtro de carbón vegetal es muy superior desde el punto de vista de las materias disueltas é inferior desde el punto de vista de las que se hallan en suspensión. Además su acción es mucho más rápida. Pero en las grandes instalaciones, como las de las ciudades, se hace uso con frecuencia de filtros de arena instalados de diverso modo.

En Londres, la instalación de la compañía de Battersea se compone de pilas de clarificación de 20.000 metros cúbicos, seguidas de dos arcas de filtración. Las pilas tienen las paredes de arcilla, revestidas de mampostería con cemento. Se llenan aprovechando el movimiento de flujo que se deja sentir en el Támesis hasta en Londres. Un canal central recibe los depósitos que á él se arrojan por dos pendientes opuestas, ó se evacuan con facilidad por medio de una gran corriente de agua. El agua se toma en la parte superior y se conduce á las arcas de filtración más profundas y de superficie igual. Conductos abovedados guarnecen el fondo de estas arcas, provistas de intersticios en su fábrica y con un núcleo en la capa inferior filtrante de arena grosera. Por cima hay capas sucesivas de guijo y arena cada vez más fina, y el agua se distribuye en su superficie sin violencia para no derramarlas. Diversas bombas aspiran el agua en los conductos abovedados y la elevan para la distribución.

En Chelsea, las disposiciones son muy poco distintas. Estas filtraciones, á pesar de su escaso espesor, depuran hasta 3 metros cúbicos por metro cuadrado y por día. Instalaciones análogas se han hecho después en América y en Venecia, donde se filtran

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

previamente las aguas del Brenta. Hay para esta filtración cuatro pilas en Moranzani, que comunican dos á dos y cuyo fondo está cubierto de capas filtrantes. Tienen en su conjunto más de 1.200 metros cuadrados.

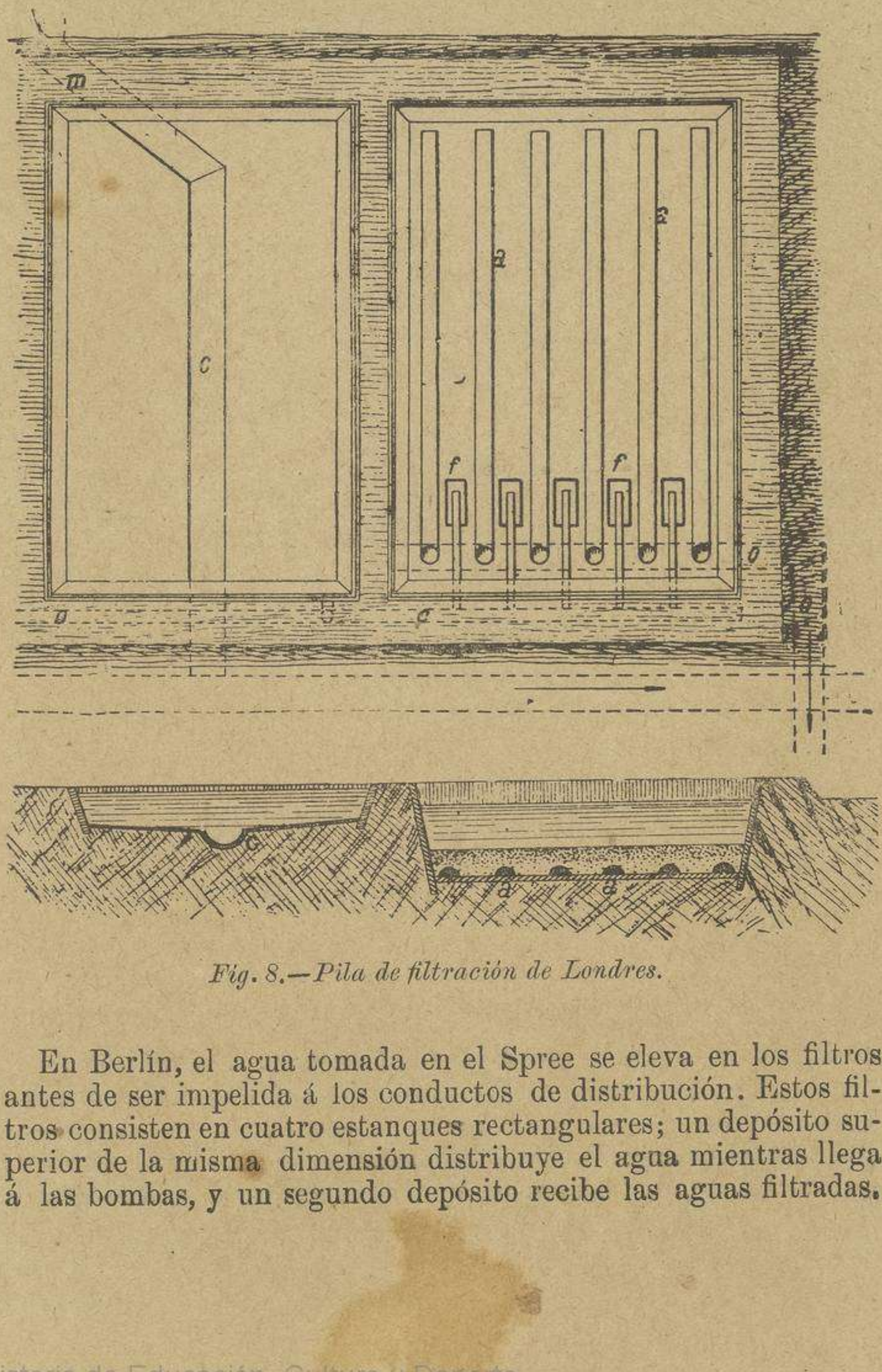


Fig. 8.—Pila de filtración de Londres.

En Berlín, el agua tomada en el Spree se eleva en los filtros antes de ser impelida á los conductos de distribución. Estos filtros consisten en cuatro estanques rectangulares; un depósito superior de la misma dimensión distribuye el agua mientras llega á las bombas, y un segundo depósito recibe las aguas filtradas.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Los filtros de mampostería con cemento tienen una capa filtrante de 1m,40, compuesta de arena media, guijo, pedernal y piedras. Un conducto colocado en el fondo sirve para el vaciado de estos depósitos, y el agua clarificada llega á un conducto común que vierte en el depósito de alimentación de las bombas. Se limpian de tiempo en tiempo los depósitos por una gran corriente de agua que se distribuye por su fondo merced á pequeños muros puestos en trampa.

Estas pilas han sido después objeto de vivas críticas, porque dejaban pasar las bacterias y las mucedíneas. Las pilas filtrantes tienen además el inconveniente de mancharse con rapidez, sin que pueda remediarse este defecto aumentando la presión, lo cual determina falsas vías en la capa filtrante.

Se ha tratado de obviar este inconveniente de diversos modos. Se ha propuesto, por ejemplo, un sistema de pilas filtrantes, de niveles superpuestos, divididos en dos por un tabique, y éste está abierto convenientemente por la parte inferior. El agua pasa de este modo al espacio más elevado y recorre sucesivamente todos los demás á causa de la diferencia de nivel. Sólo se ensucia el primer espacio, cuya arena puede cambiarse sin tocar á los demás, y el curso del agua es lento y regular.

Otras poblaciones han recurrido á las galerías filtrantes, paralelas á la corriente del río donde toman el agua é inferiores á su lecho. Así sucede en Tolosa y en Lyón. Estas galerías tienen los mismos inconvenientes que las pilas, con más el de no poderse limpiar y no permitir la comprobación de las grietas que pueden producirse. Viena las ha abandonado ya por completo, y Lyón trata de seguir su ejemplo.

Las pilas filtrantes de arena han recibido gran número de disposiciones, destinadas á facilitar su limpieza. Se disponen las capas filtrantes sobre asperones que descansan en ladrillos colocados de canto, y la limpieza tiene lugar haciendo llegar el agua en sentido inverso de su movimiento habitual. En Glascow se ha empleado un sistema de pilas de terrazas donde el agua desciende sucesivamente y al mismo tiempo atraviesa materiales de una finura creciente. Las diversas capas no se cubren y son más fáciles de limpiar, pero el establecimiento de estos filtros sucesivos exige extensos terrenos y un sistema complicado de válvulas automáticas.

Se han ideado también filtros en los que las capas filtrantes son verticales, de tal manera que las materias en suspensión no

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

se depositan en su interior, sino sobre el suelo. Los pozos filtrantes están dispuestos de modo que puedan recoger las aguas de lluvia. Estas llegan á ellos por un conducto circular, atraviesan una capa espesa de arena y se reunen en una especie de chimenea central con piedras secas, donde se vierten.

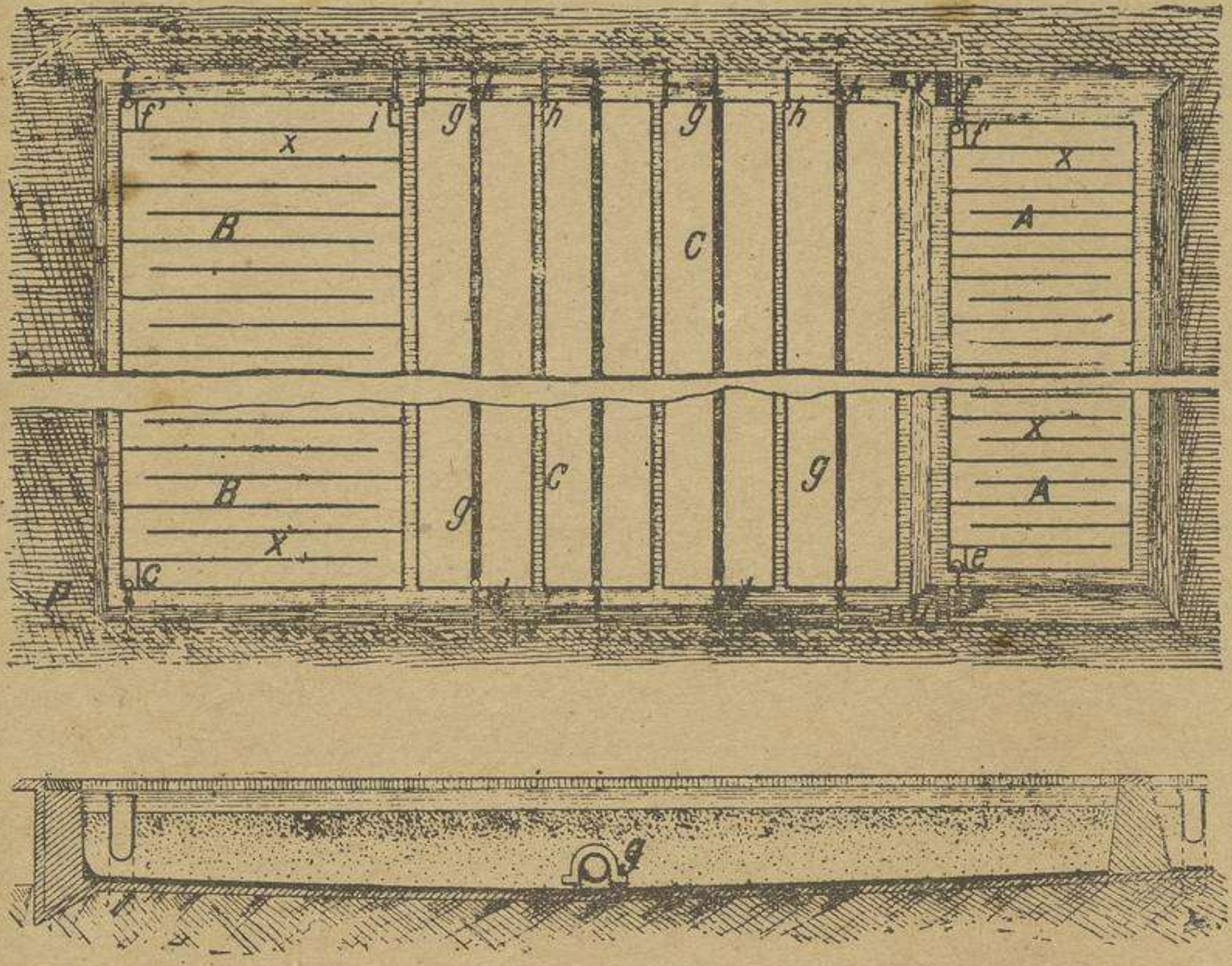


Fig. 9.—Pila de filtración de Berlín.

Una aplicación análoga se ha hecho en Nantes por Lefort para el surtido de esta ciudad con las aguas del Loire. Un banco de arena situado en la parte media del río constituye el filtro. En medio hay un pozo circular de 2 metros de diámetro, dispuesto sobre un cajón de palastro. Es de mampostería con cemento hidráulico. A 5 metros al rededor de los pozos se ha dispuesto una serie de piedras cuyos intermedios se llenan de arena grosera. El pozo, perfectamente empotrado, tiene una altura total de $7^{m},50$. Desciende á $4^{m},50$ por debajo de la orilla.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Después de haber atravesado la capa de arena espesa que le rodea, penetra el agua en el pozo por muchas aberturas ó barbacanas, cuya línea inferior está á $1^m,53$ por debajo de las aguas más bajas. Cada una de estas aberturas tiene la forma de un tronco de pirámide, cuya base ancha está vuelta del lado de la arena y cuya cavidad está llena de pequeñas piedras. Una rejilla separa éstas de la capa filtrante, y la abertura puede cerrarse á voluntad por medio de un tapón de madera, que se maneja desde el interior del pozo. Hay seis filas de aberturas, ó sea 66 en totalidad. Las tres inferiores funcionan solas; el pozo de la isla Baulieu sumistra 20.000 metros cúbicos en las veinticuatro horas, muy limpia, fresca y perfectamente depurada desde el punto de vista bacteriológico, puesto que de 25.000 bacterias ha descendido el número á 150 por centímetro cúbico.

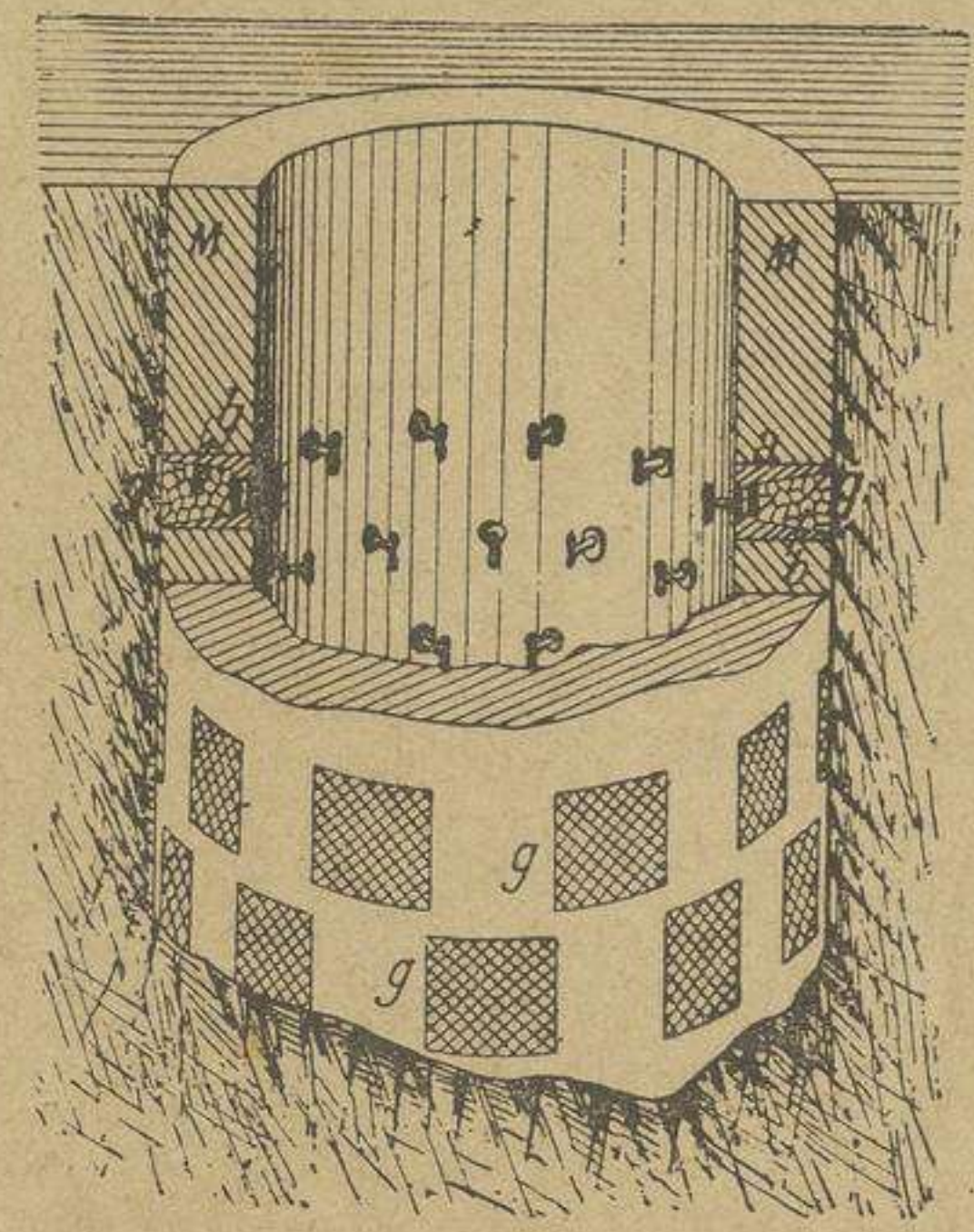


Fig. 10.—Pozo Lefort.

En América se han establecido pozos filtrantes particulares, donde el agua no circula sino diez y seis horas en las veinticuatro. El resto del tiempo puede penetrar el aire en la arena y hacer que mueran las bacterias en gran número. Se contentan con frecuencia con filtros de esponjas, ya sirvan simplemente de desbastadores previos, ya se usen exclusivamente. Estos últimos se usan con frecuencia en la industria, no preocupándose de las bacterias. Así es como la compañía del Norte de Francia los emplea en la filtración de las aguas que sirven para alimentar sus locomotoras, después de haberlas purificado. Los filtros que usa son simples depósitos cilíndricos ó un poco ensanchados, donde llegando el agua por la parte inferior atraviesa

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

una capa de esponjas comunes ó simplemente de pedazos muy finos, como el serrín de madera. Se tratan las esponjas por ácido clorhídrico cuando empiezan á endurecerse por la cantidad de los depósitos. A consecuencia de la marcha ascendente del agua, una buena parte de las materias en suspensión se deposita en el fondo del filtro.

Todos los filtros que acabamos de enumerar, fundados en la acción absorbente de la arena ó de cuerpos porosos análogos, no realizan de una manera completa la filtración del agua. Se les objeta que se ensucian rápidamente y dejan pasar con facilidad los microorganismos. Se han propuesto muchos perfeccionamientos para completar esta acción, y describiremos sólo algunos de los más notables.

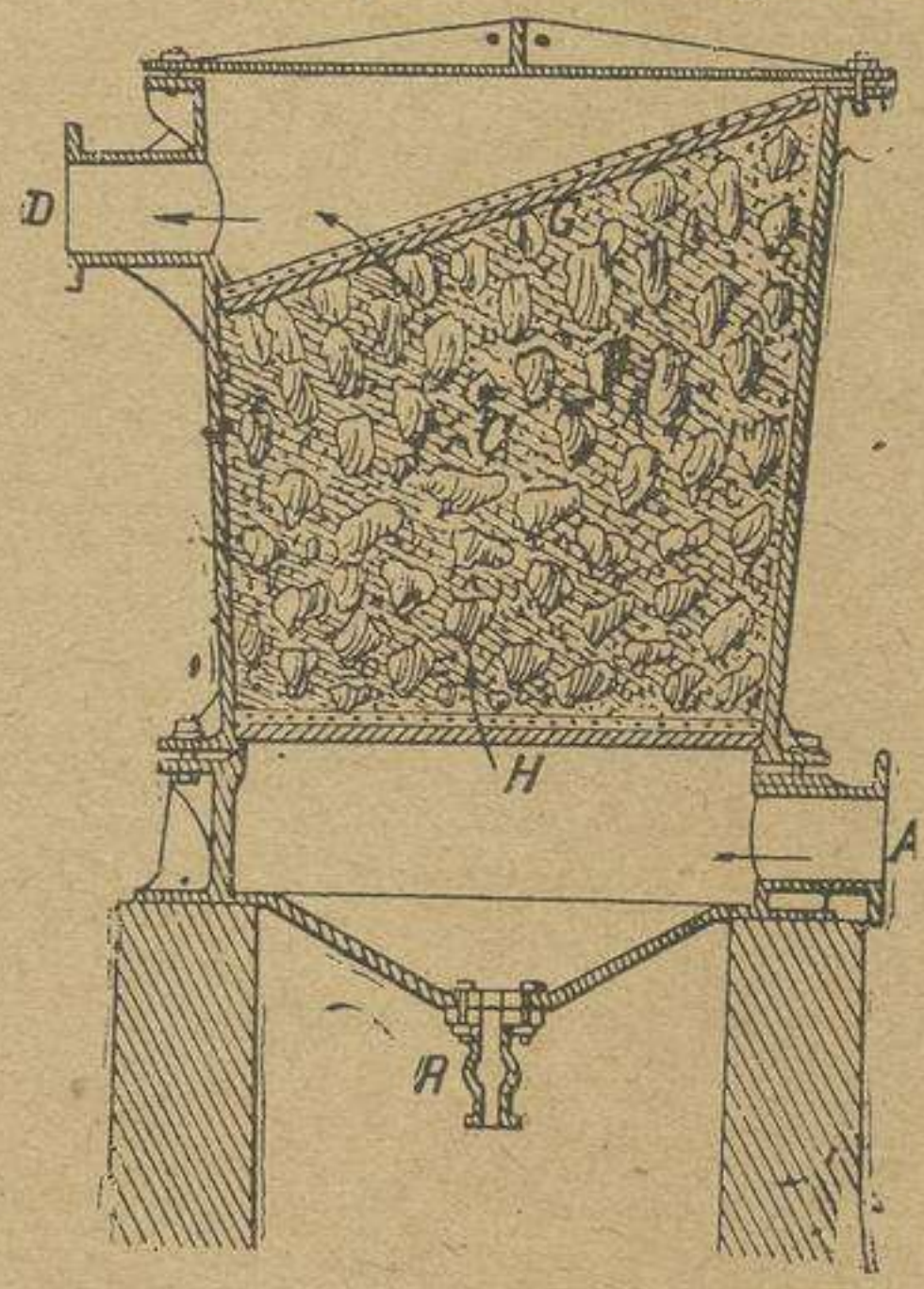


Fig. 11.—Filtro de la Compañía del Norte de Francia.

Los aparatos Howatson y compañía están fundados en el empleo de sustancias que unen á su porosidad la propiedad de condensar los gases, el oxígeno en el caso presente, y ejercer de este modo sobre el agua una acción química oxidante al mismo tiempo que una filtración. Los inventores llaman *polarita* á la sustancia de que se valen, compuesta principalmente de sílice y hierro, extraordinariamente esponjosa y dotada, según ellos, de propiedades análogas al musgo de platino. Se sabe que este último cuerpo condensa con energía el oxígeno en sus poros y puede de este modo producir, en las condiciones ordinarias, la oxidación de sustancias que de ordinario permanecen inalterables. Los Sres. Howatson pretenden que la *polarita*, independientemente de la gran superficie que presenta en un pequeño volumen, constituye un oxidante continuo y seguro, que destruye las materias orgánicas del agua, sin dejar indicio alguno de los productos que pueden alterar sus propiedades.

Las instalaciones en que se utiliza este procedimiento, bien li-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

mitadas, se componen de filtros desbastadores y de filtros de polarita. Los primeros difieren, por muchos ingeniosos detalles, de los filtros de arena, cuyas principales disposiciones reproducen. La materia filtrante es arena pulverizada, cuyas esquinas son agudas y el grosor tan graduado como se desea. Un agitador de rastrillo permite mover constantemente la superficie, y la llegada del agua está dispuesta de tal modo que puede invertir la corriente, lo que combinado con la agitación permite la limpieza del filtro. Se facilita la reunión de las materias interpuestas adicionando sulfato de alúmina.

Al salir de estos aparatos el agua desprovista de las gruesas impuridades, va á los filtros de *polarita*, establecidos por ejemplo en el suelo, y los atraviesa igualmente de alto á bajo. La materia filtrante y oxidante se establece entre dos capas de arena, y el agua se va reuniendo en balsas hasta el sitio de salida. Se disponen los filtros de manera que puedan limpiarse dos de ellos, por ejemplo, con el agua de un tercero que llega en el momento. Se renueva el oxígeno condensado en la materia filtrante por un tubo de aireación vertical ó vaciando el filtro por completo.

Se han hecho varias experiencias por este procedimiento: primero, en diversas instalaciones dispuestas para el surtido de las ciudades; después en un aparato más pequeño, que filtra próximamente un metro cúbico por día. El grado hidrotimétrico ha disminuído mucho en este último caso, y las materias orgánicas se han eliminado en la proporción de 78 por 100.

Las bacterias, que el agua ensayada contenía de 5.000 á 300.000, se han eliminado en la proporción de 99 por 100, y la acción oxidante del filtro se ha hecho sentir de un modo manifiesto en su destrucción. Una limpieza hecha después del paso de 213 metros cúbicos por metro cuadrado devuelve al filtro todo su poder filtrante.

Volveremos sobre este sistema al hablar de los filtros domésticos.

En otros sistemas ha preocupado simplemente la limpieza fácil del filtro. A esta categoría pertenece el aparato Delhôtel y Moride, donde la limpieza se efectúa sin mecanismo alguno y al que se halla unido un distribuidor de reacciones depuradoras.

Una cuba de palastro, cerrada, se llena de una capa depuradora de guijo fino quebrantado. El agua llega á esta capa por un tubo anular provisto de piezas arqueadas que proyectan el líquido en forma de torbellino circular. Después de haber atravesado

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

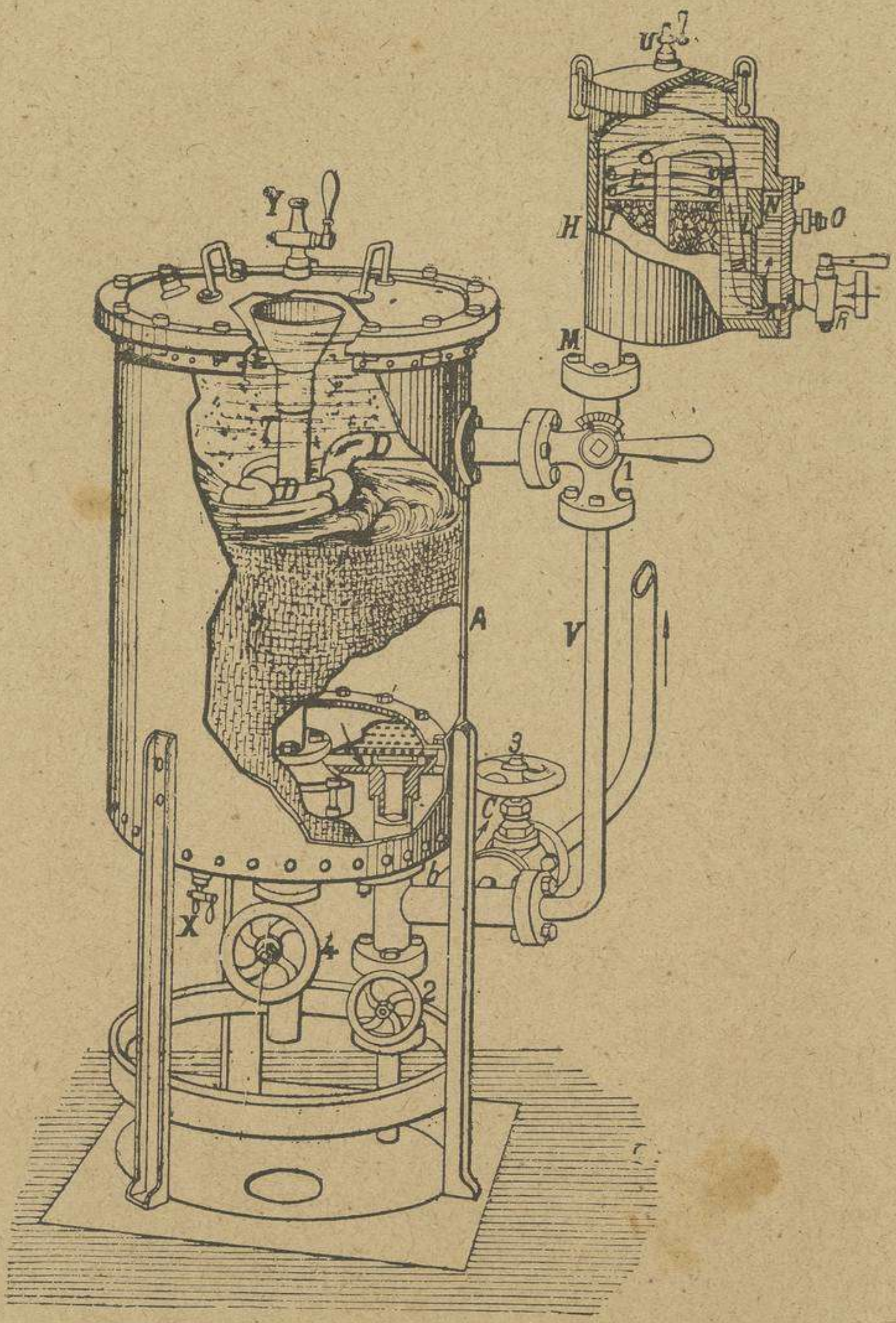


Fig. 12.—Filtro Delhôtel y Moride.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

la capa silícea, va el agua á un colector formado por dos rejillas metálicas sostenidas por una pieza de fundición. El agua filtrada sale por un conducto inferior. Además un tubo ancho, terminado en la parte superior por un embudo, atraviesa por completo el filtro, y el embudo sale por cima del nivel del agua bajo la cubierta. El agua puede dirigirse á voluntad, ya por cima por la capa filtrante ó ya por la parte inferior por el colector. Basta para ello hacer girar una llave de tres vueltas. En el segundo caso, el agua levanta la arena y la priva de sus impuridades, que arrastradas al embudo se evacuan por el tubo central.

Cuando se tratan en ellos aguas crudas cargadas de légamo, es conveniente purificarlas de antemano por medio del alumbre ó el sulfato alumínico, del cual bastan muy pequeñas cantidades para purificar el agua, englobándose las impuridades en un precipitado esponjoso. El sulfato de alúmina presenta la doble ventaja de tener un poder purificante superior y mayor inocuidad, porque no introduce en el agua sales de potasa.

El distribuidor unido al filtro en cuestión es un vaso de hierro cerrado, en el cual se coloca la sustancia depuradora. Su disposición es tal, que la mayor parte del agua pasa sin disolver nada y una porción solamente se dirige al reactivo. Esta cantidad puede regularse á voluntad por medio de un resorte que separa más ó menos el tornillo común de entrada en forma de valvulita que conduce el agua al cubo de reactivo. Con estas sencillas disposiciones el filtro funciona bien; aplicado al gua del Sena, la priva de su olor, de sus materias orgánicas y de las 9/10 partes de sus microbios.

Existen muchos aparatos fundados en la acción oxidante del aire y que parece ser están bien dispuestos. Chevalet, á quien la industria de las aguas amoniacales debe muchos aparatos ingeniosos, ha ideado una especie de columna de depuración bastante distinta de los filtros ordinarios. Parte del principio de que toda capa filtrante funciona con eficacia si se tiene el cuidado de no *ahogarla*, dándola mucha agua y poco aire.

Su aparato se compone de una serie de trozos superpuestos de fundición, que sostienen platos poco profundos y horadados por gran número de chimeneas que tienen la altura del plato, ó sea de 1 á 5 centímetros. Una distancia de 15 á 20 centímetros separa los platos, y el espacio vacío se llena de una materia porosa cualquiera, escorias ligeras, torneadura de hierro, virutas y piedra pómez. En la base de la columna hay aberturas para la en-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

trada del aire, y el agua que se va á purificar circula de alto á bajo lentamente, de modo que se impregnen las materias porosas y se oxiden en contacto del aire. Ideado sobre todo para la pu-

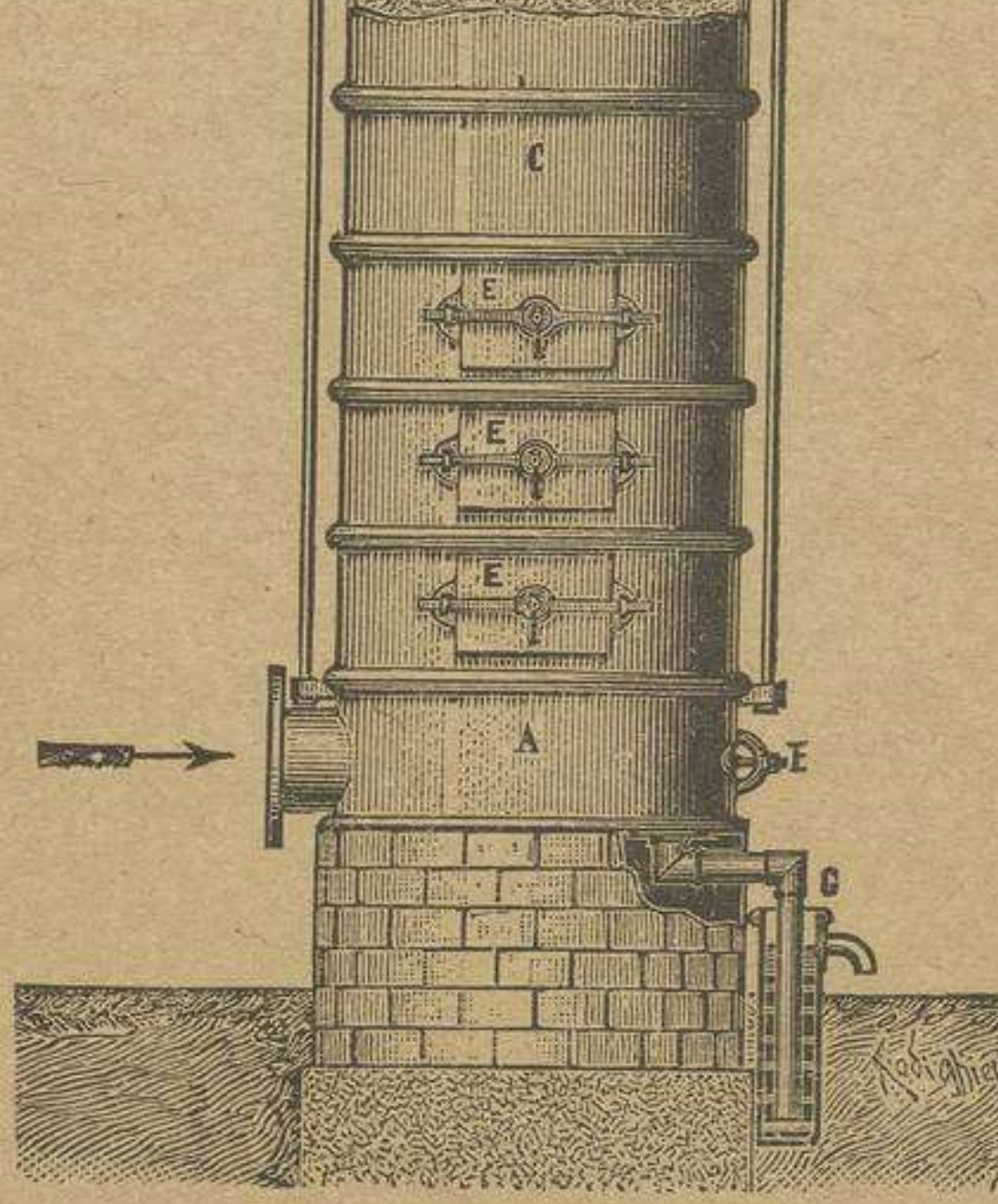


Fig. 13.—Filtro de Chevalet.

rificación de las aguas encharcadas y de todas las aguas sucias que no pueden sin inconveniente evacuarse, como sucede con las que corren, se aplica el aparato *à fortiori* á la purificación de las aguas potables. Su grado hidrotimétrico desciende mucho,

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

han desaparecido casi totalmente los microorganismos y las materias orgánicas.

Un segundo aparato del mismo género, más sencillo y de un modo más fácil de funcionar, se debe á Robert. Se compone de una caja cilíndrica ó prismática vertical bastante alta y llena de arena. No hay necesidad de colocar ésta sobre un doble fondo, supliéndose esto por un lecho de piedras que disminuye gradualmênte de diámetro. La columna debe tener 4 metros al menos y dejar en la parte superior una cámara de pulverización. El agua llega con bastante presión, por ejemplo, el agua de la ciudad, y sale en forma de lluvia, mezclándose íntimamente con el aire. Este llega por un tubo que sale á la atmósfera y que se puede, si es necesario, hacer que atraviese por un aparato de ozono, que después veremos su potente acción. Así reducida á lluvia, el agua cae á través de la arena grano por grano y se extiende con lentitud en una superficie considerable. Su oxigenación se hace por completo, y el agua sale después de haber atravesado los tabiques adecuados de un decantador. Es perfectamente clara y ha perdido casi siempre la mitad por lo menos de su valor hidrotimétrico. El agua del Sena desciende de este modo de 23 á 11° hidrotimétricos. Las materias orgánicas y los microbios desaparecen totalmente, el valor en oxígeno se aumenta, y aunque muy impura, recupera el color azul que es característico en grandes masas.

Este notable aparato presenta además la preciosa ventaja de no exigir limpieza alguna. Hemos podido comprobar el hecho en filtros instalados hacía ya tres ó cuatro años, y continúan suministrando resultados idénticos, funcionando por solo el oxígeno del aire y bajo la presión del agua de la población. Probablemente debe estas propiedades á que imita con toda la perfección posible lo que sucede en el suelo, donde el agua, después de haber atravesado capas homogéneas, llega á las balsas subterráneas perfectamente estéril.

El único inconveniente que presenta es su altura, que resulta muy elevada y parece muy desproporcionada con la cantidad de agua que va á purificar. Aunque falten datos precisos acerca del trabajo que se realiza, es probable que entren en juego los microbios nitrificantes, que en el terreno concurren tan eficazmente á la destrucción de las materias orgánicas, transformando los productos amoniacales en nitratos ó en nitritos. No hay que perder de vista, en efecto, como ha observado Duclaux, que los micro-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

bios son los mejores agentes de purificación, por la concurrencia vital que ejercen unas sobre otras las diversas especies. El trabajo de los microbios, aun de los más fétidos, es, ante todo, un trabajo de purificación, y puede decirse que cuando un agua contiene materia orgánica no hay precipitación química, ni filtración porosa que equivalga á una invasión de gérmenes y á una impureza pasajera. Una vez purificada por las especies tributarias, se convertirá en un medio resistente ó impropio para toda nueva implantación. Lo que se llama el ázoe albuminoide ha disminuído ó desaparecido, el ázoe amoniacal ha aumentado, y si los fermentos nitroso y nítrico han podido terminar este trabajo, el mismo ázoe amoniacal ha sido reemplazado por el ázoe nitroso ó nítrico.

En este momento el agua, si es clara y no contiene gérmenes, lo que es el caso más general, es un agua potable de primer orden y puede alimentar las diatomeas y algas verdes. Es lo que se investiga en todas partes.

«En resumen, la depuración del agua por los microbios es el procedimiento general de la materia. Casi siempre el agua no resulta potable sino con la condición de haber sido habitada y temporalmente impotable».

Debemos mencionar con algunos detalles un sistema de filtración que, experimentado en gran escala en aguas muy impuras, parece suministrar excelentes resultados. Es el procedimiento de Anderson, fundado en el empleo del hierro.

Las primeras experiencias relativas á la acción del hierro sobre las impurezas orgánicas de las aguas potables se remontan á una época bastante remota, y esta sustancia se aplicó en grande por el doctor Bishop, que la empleó igualmente para un filtro doméstico. El agua pasa por una capa filtrante de arena ordinaria, donde se despoja de sus impurezas mecánicas; después á otra capa formada de una parte de hierro granulado y tres de arena. Pasa, por último, á través de una capa de arena fina. Este sistema, aplicado á la purificación de las aguas del Nèthe, que surte á Amberes, da los mejores resultados; pero á consecuencia de la gran impureza de las aguas en cuestión, las capas superiores se obstruyen rápidamente y necesitan frecuentes limpiezas.

La superficie de estos filtros es de hierro; pero si se ahonda hasta que se encuentre el lecho que contiene el hierro, se observa una capa cenagosa, rojiza, mezclada con partículas de hierro y arena, mientras que más abajo la mezcla es de un color negro intenso.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Teniendo cuidado de quitar cada seis meses 15 milímetros de la capa de hierro, el filtro funciona sin interrupción.

Aunque el agua sometida á este sistema haya experimentado una filtración de doce horas que la haya purificado notablemente, no deposita, al menos sobre la capa de hierro, un depósito cenagoso suficiente para ensuciarle, lo que prueba que hay en realidad acción química. Saliendo de la capa depuradora, el agua debe caer al filtro de arena en una balsa delgada, á fin de experimentar el mayor contacto posible con el aire. Puede todavía suplirse esto por la inyección artificial de aire cuando se trata de aguas que tienen un sabor pantanoso difícil de quitar.

Después de haber funcionado cuatro años los filtros de hierro de Amberes debieron aumentarse ante las nuevas demandas, y la construcción de pilas ó estanques para el tratamiento por este aumento ocasionaron grandes gastos. Andersson ensayó entonces poner en práctica la agitación en contacto del hierro en lugar de su filtración por esta sustancia. Si la acción del hierro era verdaderamente química, había lugar á suponer que un contacto íntimo con el agua, renovándose constantemente sobre sus superficies, favorecería esta reacción. Se creía todavía que la operación debía exigir un tiempo muy largo para que fuese practicable, pero los primeros ensayos demostraron que el agua del Nèthe estaba perfectamente purificada después de tres minutos y medio de agitación con el hierro limpio.

Se hace uso de un cilindro llamado *revólver*, muy largo, que gira horizontalmente sobre dos muñones huecos, en los que desembocan los tubos de llegada y salida del agua que están fijos. El cilindro recibe su movimiento con el auxilio de una corona dentada y un piñón movido por un motor.

El agua sale horizontalmente de cara á un disco que la divide en filetes radiados, dispuestos de modo que no arrastren partícula alguna de hierro. El interior del cilindro está provisto de tabletas curvas ú hojitas dispuestas en hileras, de manera que se encuentren y desunan alternativamente. Recogen el hierro y le diseminan de una manera continua en toda la masa de agua. El hierro que se emplea es hierro granular ó esponjoso, ó pequeños pedazos obtenidos por precipitación en el agua.

El estado más conveniente parece ser el de torneaduras ó virutas, como se obtienen en los talleres de construcciones mecánicas. Los revólvers dan una vuelta por minuto, tienen $4^{m},50$ de largo y $1^{m},50$ de diámetro, con tubos de 25 centímetros de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

abertura. Instalados éstos en Amberes, han permitido transformar los antiguos filtros de hierro en simples filtros de arena. Este cambio ha duplicado la cantidad de agua consumida, aunque necesitando una cantidad de hierro mucho menor (3 toneladas y media en lugar de 900 toneladas) y suprimiendo todos los gastos de limpieza de los filtros.

El agua pura que sale del revólver posee un ligero color grisáceo. Por la exposición al aire se forma al cabo de algunas horas un depósito pardo rojizo. Si el agua ha experimentado una filtración previa, es lo que generalmente ocurre; pero si es muy impura y coloreada sale del revólver con un color gris, que pasa bien pronto al negro de tinta. Este precipitado se deposita lentamente y el agua sale del filtro de arena perfectamente clara.

Las aguas que por el prolongado reposo nunca resultan claras, como las del Nilo, se clarifican rápidamente por el hierro, que coagula la materia orgánica opalescente. El hierro produce tres efectos principales sobre las aguas impuras. El metal se disuelve lentamente por el agua bajo la influencia del oxígeno y ácido carbónico, siempre presente en este líquido. Se disuelven de este modo 0,648 miligramos por 5 litros de agua, y es probablemente pasando al estado de sales de peróxido como las sales ferrosas toman el oxígeno de la materia orgánica y la reducen. De cualquier modo que sea, el ázoe albuminoide se reduce á 1/2 ó á 1/5 de su cantidad primitiva. Además, la disolución de hierro á expensas del ácido carbónico disocia los carbonatos térreos en disolución en el agua á favor de este gas. Se precipitan, pues, bajando el grado hidrotimétrico de las aguas *crudas*. Las aguas purificadas en Amberes atraviesan un distrito industrial y contienen ya hierro. El paso al revólver precipita la sales que de este metal existen, siendo menos ricas en él á la salida que á la entrada. Es un hecho análogo al que veremos en la precipitación de las sales de cal por un exceso de esta base. Los pescados viven perfectamente en las aguas así purificadas y no parece que presentan inconveniente en el lavado de las ropas.

Por último, el tratamiento por el hierro destruye los microorganismos de las aguas. Un agua que contiene sales de este metal es impropia para la existencia de los seres vivos, y los peces huyen con presteza de las aguas tal como salen del revólver, todavía cargadas del hierro que perdieron por filtración subsiguiente.

Los aparatos pueden funcionar indefinidamente teniendo

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

cuidado de añadir cada semana cierta cantidad de hierro para reemplazar el que se ha disuelto. El agua distribuída en Amberes corresponde á 0,03 el metro cúbico.

Los aparatos de Anderson se han instalado también en Gonda y Dordrecht, en Holanda, así como en Ostende, Berlín y en los establecimientos Cail, con el agua del Sena en Grenelle.

Después, la Compañía de Aguas ha establecido una fábrica de éstas en el puente de Sèvres. Los resultados han sido los siguientes:

Disminución casi nula del grado hidrotimétrico (108 miligramos de cal antes, 104 después); pérdida de oxígeno (9 miligramos; 3 antes, 6 después); pérdida de 32 por 100 de materia orgánica. El análisis bacteriológico, hecho diferentes veces, ha dado los resultados siguientes (Observatorio de Montsouris):

Agua del Sena	no filtrada	396.000	bacterias por c. c.
	filtrada	1.704	—
Agua de la Vanne		1.110	—
Proporción por 100 de bacterias destruídas . . .		95,5	—

Se ve que el filtro Anderson, aplicado á un agua tan impura como el agua del Sena, la transforma en un agua sensiblemente igual á la de fuente, desde el punto de vista de su riqueza en bacterias. Sólo puede objetarse que se priva al agua de su oxígeno.

Existe un cuerpo dotado de propiedades muy enérgicas desde el punto de vista que nos ocupa y que se ha tratado de utilizar. Se trata del ozono. Es, como sabemos, una modificación alotrópica del oxígeno; es decir, un oxígeno cuyo volumen ha venido á ser menor y cuyas propiedades se han modificado de una manera notable, sin que el análisis encuentre cambio alguno en su composición. En primera línea de los caracteres del nuevo cuerpo se colocan sus propiedades oxidantes, mucho más enérgicas que las del oxígeno. Se produce haciendo pasar aire por un espacio anular cuyas paredes sirven de conductores para la descarga oscura de un manantial de electricidad. Bajo la influencia del *efluvio eléctrico*, que no se manifiesta por la chispa, el aire se carga de cierta proporción de ozono, que se revela por su olor especial y algunos papeles reactivos sensibles á la acción de este cuerpo. No es extraño, con este modo de producción, que el aire atmosférico contenga indicios de ozono, á consecuencia de los fenómenos eléctricos que en él tienen lugar; se ha ido más lejos en este camino, y se ha atribuído al ozono un gran papel en

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

la purificación de la atmósfera. Esta opinión parece justificada por la presencia del ozono en mayor cantidad en el aire de los campos, su rareza tanto mayor cuanto más impuro es el aire de los puntos donde hay aglomeración y su ausencia en algunas epidemias. De cualquier modo que sea, y haciendo abstracción de lo que estas teorías puedan tener de exagerado, las propiedades del ozono hacen de él un cuerpo extremadamente precioso, que nacido ayer tiene ya importantes aplicaciones industriales, á pesar de la dificultad bastante grande de su producción. Su poder de oxidación le ha convertido en un descolorante y desinfectante de primer orden, y es natural que se hayan servido de él para la esterilización de las aguas. Sus ventajas en este uso son considerables: no sólo es uno de los mejores microbicidas conocidos, sino que se disipa espontáneamente después de haber actuado, no dejando huella alguna sensible de su paso. Menos costoso que la esterilización por el calor, no tiene el inconveniente de desairear el agua.

Sus ventajas sobre los filtros son del mismo orden, puesto que destruye al mismo tiempo que los microbios todas las materias orgánicas. No hay ya motivo que haga dudar del favor concedido en teoría á este procedimiento de depuración de las aguas.

La dificultad de construir un aparato industrial capaz de producir en grande el aire ozonizado parece estar hoy casi resuelta, después de numerosas y pacientes investigaciones. Desde 1877, hizo Seguy construir un aparato que ha prestado después grandes servicios para el blanqueo de las plumas, cera, tripas, desodorización de los aceites, oxidación del alcohol, y el autor no dejó de señalar la importante aplicación que nos ocupa Su aparato se componía de tubos de vidrio cubiertos por delante y por detrás de una espira de aluminio, y colocados en una cubierta común por donde circula el aire. Producía por minuto 5 litros de aire ozonizado á 36 miligramos.

En 1891, Siemens y Halske, de Berlín, construyeron un ozonizador mucho más potente: un tubo metálico central, por el cual circula una corriente de agua; un tubo medio aislador, de vidrio ó en celuloide, y un tubo exterior, formado por tiras de estaño unidas á él. Muchos aparatos semejantes reunidos en serie dan hasta 3 miligramos de ozono por segundo, repartidos en el aire ozonizado á 36 miligramos, para un caballo de vapor de potencia.

En diez minutos 5 litros de este aire ozonizado mataron, no ya

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

el bacilo, sino los esporos del bacilo del carbunco, mucho más resistentes, contenidos en un agua en que había más de 3.500.000 por centímetro cúbico.

Esta experiencia concluyente aclara otro hecho: cuando el agua contiene materias orgánicas, el ozono dirige su acción sobre ellas y no actúa sobre los microbios sino cuando estas materias se han oxidado previamente.

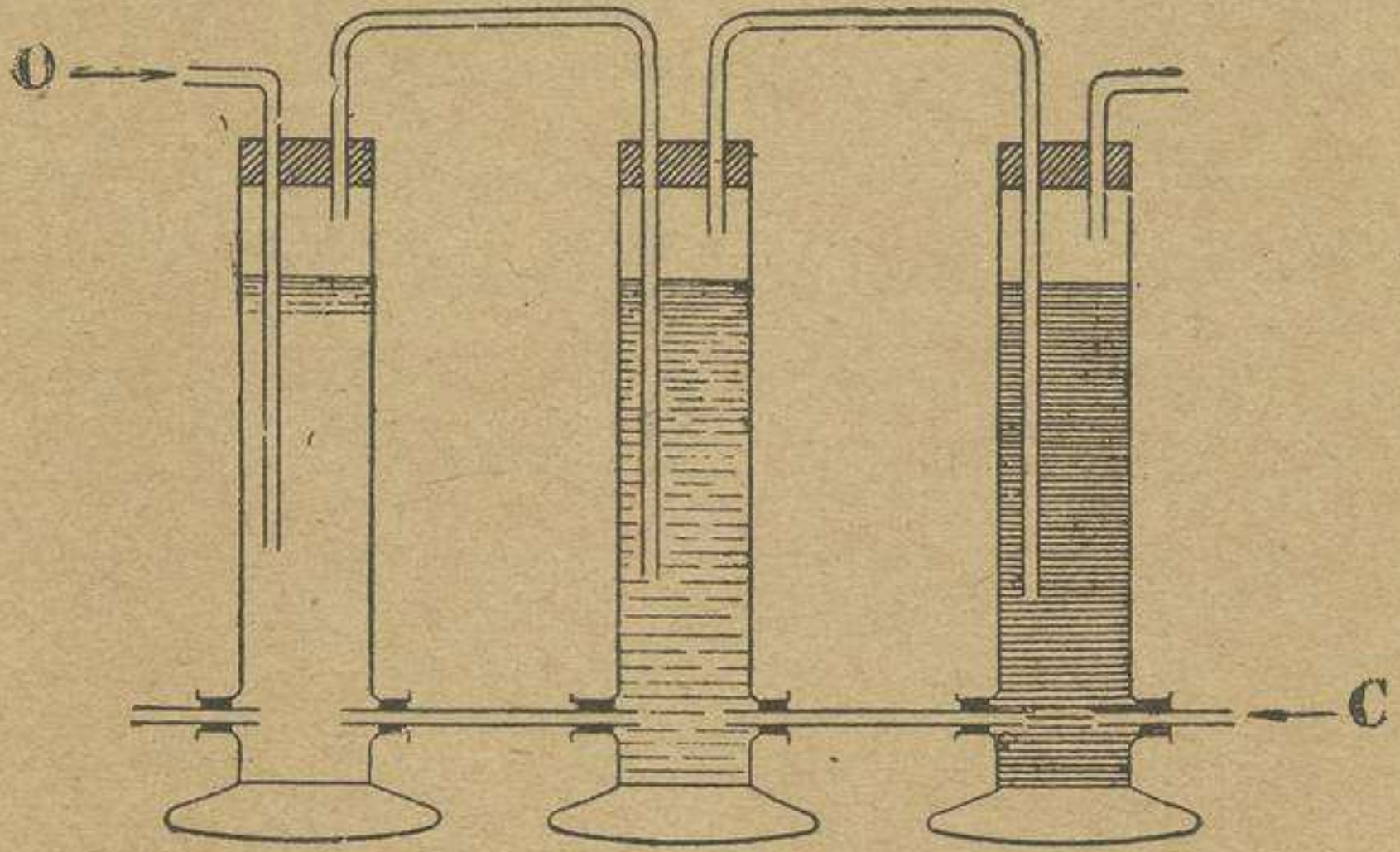


Fig. 14.—Esquema del ozonizador de Undy.

Después de practicados numerosos ensayos para alcanzar mayores rendimientos en ozono, Tyndal, Schneller y Van der Sleen han obtenido notables resultados suprimiendo la pared aisladora que separa los electrodos entre los cuales sale el efluvio; pared de vidrio en los primeros aparatos, de celuloide en el segundo, lo que era necesario para impedir la producción de chispas por la resistencia que ofrece á la corriente. Este resultado se ha obtenido de un modo muy sencillo; en lugar de intercalar la resistencia entre las dos superficies en que se produce el efluvio, se la intercala antes de la llegada de la corriente á estos electrodos, bajo la forma de un cilindro de porcelana ó de un tubo lleno de glicerina, cuerpos malos conductores. La distancia entre los conductores ha podido elevarse á 10 centímetros, y gracias á esta distancia y á las asperezas de la superficie de uno de los electrodos, ha cesado el aparato de absorber una parte notable de la energía eléctrica y el empleo de las corrientes á muy alta tensión se ha hecho posible, con ventajas en el rendimiento.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Cada ozonizador se compone de una caja rectangular, cuyas paredes están formadas por fuertes espejos circuidos por marcos exteriores de madera. La cara superior da paso á los tubos de vidrio llenos de glicerina, en número de 15, cuyo uso ya hemos indicado. La corriente, después de haber vencido esta resistencia, llega al salir de cada tubo á una lámina de platino. La reunión de estas láminas forma un electrodo. Dos hojas de cobre dorado, unidas con el suelo y adheridas á las paredes del espejo, forman el otro electrodo. El efluvio sale por entre estos conductores. El aire que se quiere cargar de ozono se elimina primero de su materia pulverulenta, después de la humedad por el paso por ácido sulfúrico. Circula en seguida lentamente desde el primero al último ozonizador, cargándose cada vez más. En cada caja hay además un espacio cerrado, por el que circula un serpentín de aire enfriado á —25°. El ozono se descompone, en efecto, por la menor elevación de temperatura.

A la salida de los ozonizadores hay dos tubos de estaño que sirven para empujar el aire cargado de ozono á los esterilizadores. Se inyecta en burbujas en estos aparatos, que son cubas de gres ó de hierro esmaltado, por el intermedio de un falso fondo perforado. A fin de prolongar el contacto se disponen muchos aparatos en serie.

De este modo se puede, y parece ser que con éxito, pulverizar el agua que se ha de depurar en una atmósfera de aire ozonizado, que no necesita ser tan rico y cuesta mucho menos su producción.

En Bélgica, en Oudshoorn, se practica en grande la purificación del agua por medio del ozono. Se trata del agua del viejo Rhin, que excede en impuridades, por la afluencia de alcantarillas y materias turbosas, á las aguas clásicas del Támesis y del Sprée, y que se hacen pasar previamente por un filtro de arena, no porque lo necesite el aparato, sino para evitar complicaciones con pérdidas materiales. Desde los primeros instantes de contacto mueren la mayoría de los microbios. Los esporos no resisten á una acción del aire ozonizado prolongada durante siete á ocho minutos. Un aparato que suministre 5 litros por minuto de agua filtrada la deja completamente estéril ó poco menos, operando en especies resistentes que se hayan introducido en ellas.

Se ha operado también sobre microbios patógenos; un agua que contenga 7.830 000 colibacilos por centímetro cúbico se ozonizó por espacio de diez minutos. Después de veinticinco

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

días de cultivo no se encontró en ella ningún bacilo. La acción microbicida del ozono, repetida en numerosas experiencias, puede considerarse como indudable.

El ozono no deja de modificar la composición química del agua: 50 por 100 de amoníaco libre desaparecen, el ázoe albuminoide se reduce á la misma proporción y en general todas las materias orgánicas experimentan una oxidación enérgica que las modifica profundamente. Como á esta clase de sustancias pertenecen precisamente las toxinas, ptomainas, toxalbúminas y otros productos peligrosos de la actividad microbiana, es también éste uno de los más benificiosos resultados de la actividad del ozono.

Admitiendo, en efecto, que estas excreciones microbianas no determinen por sí mismas una intoxicación, que es el caso más favorable, favorecen el desarrollo en el intestino de las bacterias, que encuentran allí un medio poco resistente para su invasión. No existe, por lo demás, agua procedente de sustancias orgánicas sin microbios y recíprocamente. Desde este punto de vista parece que la esterilización por el ozono debe oponerse eficazmente á la reinfección del agua por nuevos gérmenes.

Queda, sin embargo, que esclarecer un punto en esta importante cuestión. Jamás se ve sin cierta inquietud introducir en el líquido esencial de la alimentación *productos químicos* desconocidos, y un procedimiento de esterilización, por perfecto que fuera, no podría tener éxito sino con la condición de no privar al agua de sus propiedades organolépticas. El ozono ataca muy poco á las sales disueltas, sobre todo al cloruro de sodio; los nitratos experimentan una reacción bastante sensible; el carbonato de magnesia y el sulfato de cal se precipitan en parte, mientras que el carbonato de cal no se altera. El color, el olor y el sabor de las aguas impurificadas por sustancias orgánicas se modifican profundamente, y entonces el agua del Sena puede rivalizar con la de la fuente más pura.

En cuanto á las sustancias introducidas en el agua por el ozono, se podrá temer la presencia de los nitritos y del agua oxigenada. Los primeros no se forman cuando se evita toda producción de chispas en los aparatos; la segunda, que se produce en el agua destilada, no se forma en las aguas impuras, en razón sin duda de la presencia de las materias orgánicas. Es más, el agua experimenta por parte del reactivo una sobreoxigenación. El agua del Sena contiene después 10 miligramos de oxígeno disuelto, mientras que antes sólo contenía 5. Es una circunstancia

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

feliz, tanto por las cualidades que el oxígeno comunica al agua potable, como por la acción química que ejerce este cuerpo sobre las sales de hierro. El agua jamás puede resultar ferruginosa por su contacto con los conductos.

Tres mil caballos de vapor podrían bastar para esterilizar los 30.000 metros cúbicos que consume diariamente París, y todavía las dinamos que sirven para este uso durante el día podrían en rigor emplearse para el alumbrado por la noche. En muchas localidades la esterilización no será más dispendiosa que la filtración, y se impondrá por lo demás en muchos casos en que los filtros son inferiores en sus resultados. Si se reflexiona en que la producción de ozono ha ingresado en la industria solamente desde hace algunos años, se podrá creer que este procedimiento tiene motivos ciertos de adquirir en lo futuro una gran importancia.

En las localidades como París, surtidas por aguas de fuentes que se toman muy lejos para tenerlas puras, los procedimientos de filtración que acabamos de enumerar no son muy útiles. Por exceso de precauciones puede quererse esterilizarlas. Esta purificación se impone cuando los aparatos filtrantes de las poblaciones no suministran las aguas más que *desbastadas* (purificadas incompletamente), ó cuando no se dispone sino de aguas no filtradas y hay razones para creerlas sospechosas. Los filtros domésticos son muy numerosos, más todavía que los filtros industriales, y nos es imposible describirlos todos.

Los más sencillos están fundados en la acción de las piedras porosas naturales, de excelente calidad, tal como existen en los alrededores de París. Se dispone la placa de gres filtrante de manera que forme el fondo del depósito del agua que se va á filtrar; se la talla en forma de campana, de modo que el agua filtre de fuera á adelante. Estas fuentes filtrantes, muy usadas, se hacen más eficaces por la adición de capas de arena y de carbón de madera. Este último cuerpo es un buen agente purificador. Tiene sobre todo la propiedad de condensar los gases y retener los alcaloides que se hacen pasar en solución por su masa. El carbón animal, muy dividido, es todavía más eficaz.

Frecuentemente se emplean filtros domésticos, compuestos tan sólo de carbón, ya que éste se haya obtenido por calcinación de algunas mezclas, ya se haya puesto en forma de pasta plástica y modelado por presión. Estos filtros depuran en general de un modo muy satisfactorio el agua que se hace pasar por ellos, des-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de el punto de vista del olor y el sabor, y se les ha dado las disposiciones más variadas. Son, por ejemplo, cilindros huecos de carbón, de paredes gruesas, rodeados por agua que se purifica al atravesarlos. Se hacen también pequeños filtros de bolsillo, que pueden utilizarse aspirando directamente por la boca, con el auxilio de un tubo de caucho, cuando el filtro está sumergido en el agua que se va á purificar. Algunos sistemas, como los filtros Maignen, realizan una primera purificación á través de una tela de amianto, y una segunda á través del carbón, negro animal

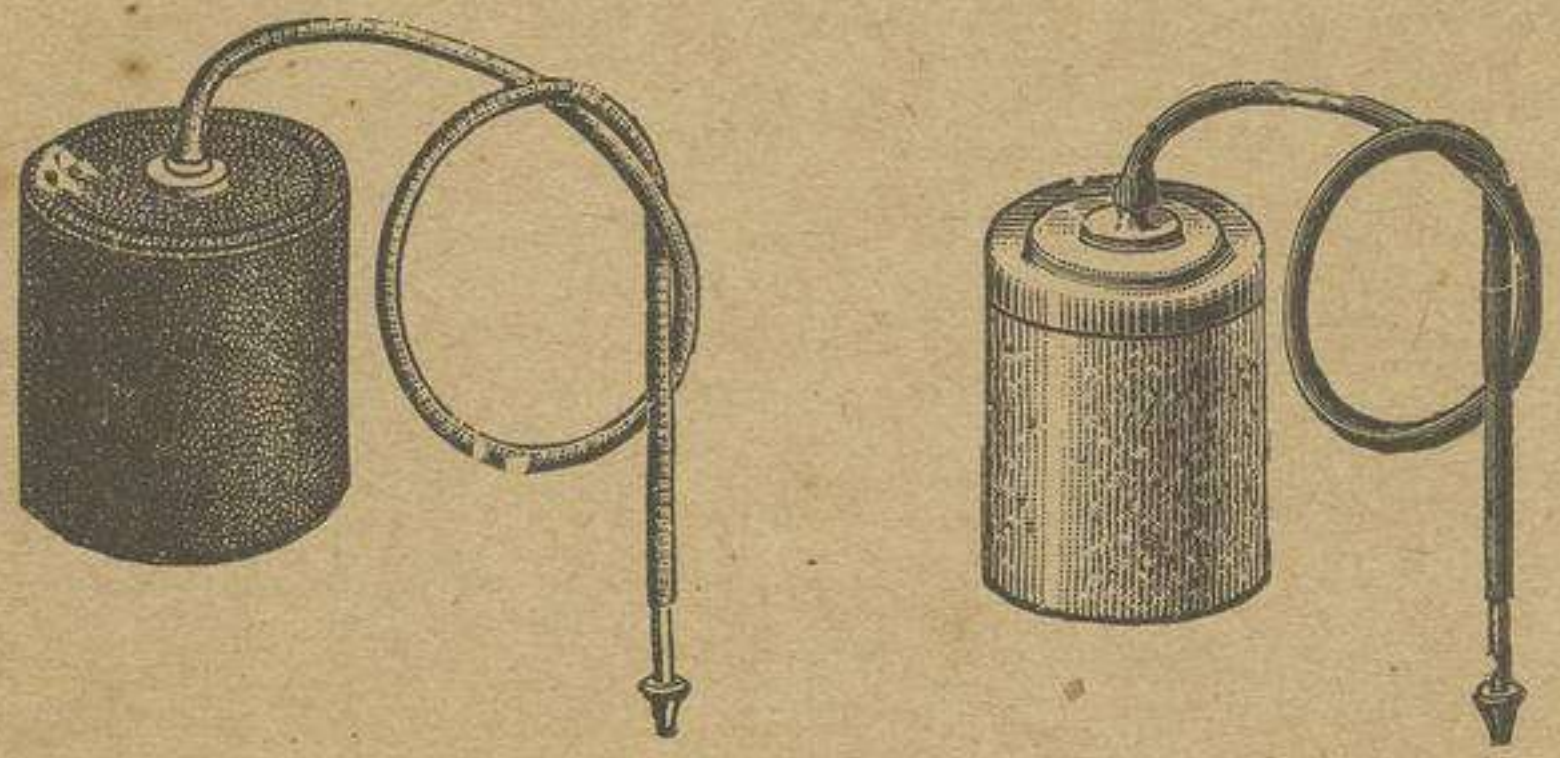


Fig. 15.—Filtro de carbón aglomerado de Buron.

granulado ó composición especial á base de este cuerpo. Estos aparatos prestan servicios principalmente para purificar de un modo instantáneo un agua corriente que se quiere beber y se desconoce su naturaleza.

Cuando el terror del microbio se apoderó de los consumidores de agua, y se ocuparon casi exclusivamente de eliminar estos microorganismos, el filtro de bujía de porcelana excitó primero gran entusiasmo y se confió enteramente en el agua que suministraba. Es inútil describir este aparato, conocido en todas partes: consiste en un tubo de porcelana esmaltada, cerrado por un extremo y terminado en el otro por un orificio de salida esmaltado. Esta bujía está contenida en una cubierta metálica, donde llega el agua bajo presión, que se sustrae libre de todo germen por el orificio de salida, después de haber atravesado los poros muy finos del aparato. Cuando, en efecto, el filtro es nuevo, el agua que sale de él es absolutamente estéril; el hecho se ha demostrado varias veces. Pero ese estado no se mantiene constantemente. Si la pared de porcelana retiene los microbios, retiene

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

también las materias orgánicas en suspensión, y todo ello no tarda en formar en la superficie de la bujía una capa glutinosa que constituye un excelente medio de cultivo para los microorganismos. Estos concluyen poco á poco por atravesar por completo la pared filtrante, y á partir de este momento la filtración es ilusoria. Independientemente de este hecho, la putrefacción de la materia orgánica puede dar al agua filtrada un sabor detestable. Es un accidente que sucede siempre con las bujías que se sumergen sin presión en el agua que se va á filtrar, y en este concepto son muy inferiores á los vulgares filtros de carbón. Cuando se dispone del agua de una población, este inconveniente desaparece, pero subsiste el de la frecuente limpieza de un aparato frágil, cuya limpieza debe reemplazarse por una calcinación en un horno, cuando la pared ha sido atravesada por las bacterias.

Este aparato, que presenta propiedades verdaderamente notables cuando se trata de separar rigurosamente un sólido de un líquido, ofrece otros muchos inconvenientes cuando se aplica á la filtración continua del agua. Además de los que acabamos de señalar, y son los más graves, puede también atribuírsele su escaso rendimiento y también el no ser siempre idéntico. Tal bujía habrá experimentado por la cocción una vitrificación más avanzada, que la convertirá en un filtro más perfecto, dando algunas gotas de agua á una presión considerable. Y si se trata de aumentar la producción y hacerla industrial por el aumento del número de bujías, se multiplican en la misma proporción los motivos de tener una bujía partida que compromete ella sola toda la operación. Creemos que para el uso corriente, los filtros de escaso rendimiento, ya sean de porcelana desobstruída, de porcelana de amianto, de alúmina, no convienen sino á medias; tienen un gran valor cuando se trata de investigaciones rigurosas, donde con mucha frecuencia se pueden limpiar y esterilizar, pero damos la preferencia á los aparatos que con la misma seguridad dan una producción más considerable.

Por lo demás, se ha comprendido bien que la limpieza constante é incierta de los filtros de bujías era una de las causas que restringían el empleo de ellas, y existen algunas disposiciones en que se ha tratado de hacer esta limpieza automáticamente. El problema era bastante delicado, y una de las mejores soluciones la ha proporcionado el limpiador André. El aparato se compone de un sistema de cepillos dispuestos en series, y de tal modo que el simple manejo de una manivela produce la enérgica limpieza

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de toda la superficie filtrante, ya directamente, ya por el intermedio de un polvo inerte como el carbón. La dificultad todavía no hacía más que disminuirse; los desmontados del filtro, si eran menos frecuentes, eran en cambio más delicados, gracias al mecanismo bastante complejo del limpiador, que no parece hallarse extendido. Se ha propuesto también recurrir á medios químicos, cuya aplicación es ciertamente más sencilla. Se introduce, por ejemplo, en el recipiente que contiene la bujía una solución de permanganato de potasa. Todas las materias orgánicas se queman en contacto de ese agente enérgico, y cuando se juzga suficiente su acción, basta restablecer la presión para que la solución coloreada atraviese el filtro, que de esta manera limpia de un modo completo. Cuando el agua pasa enteramente descolorada, puede recogérse.a de nuevo para el consumo.

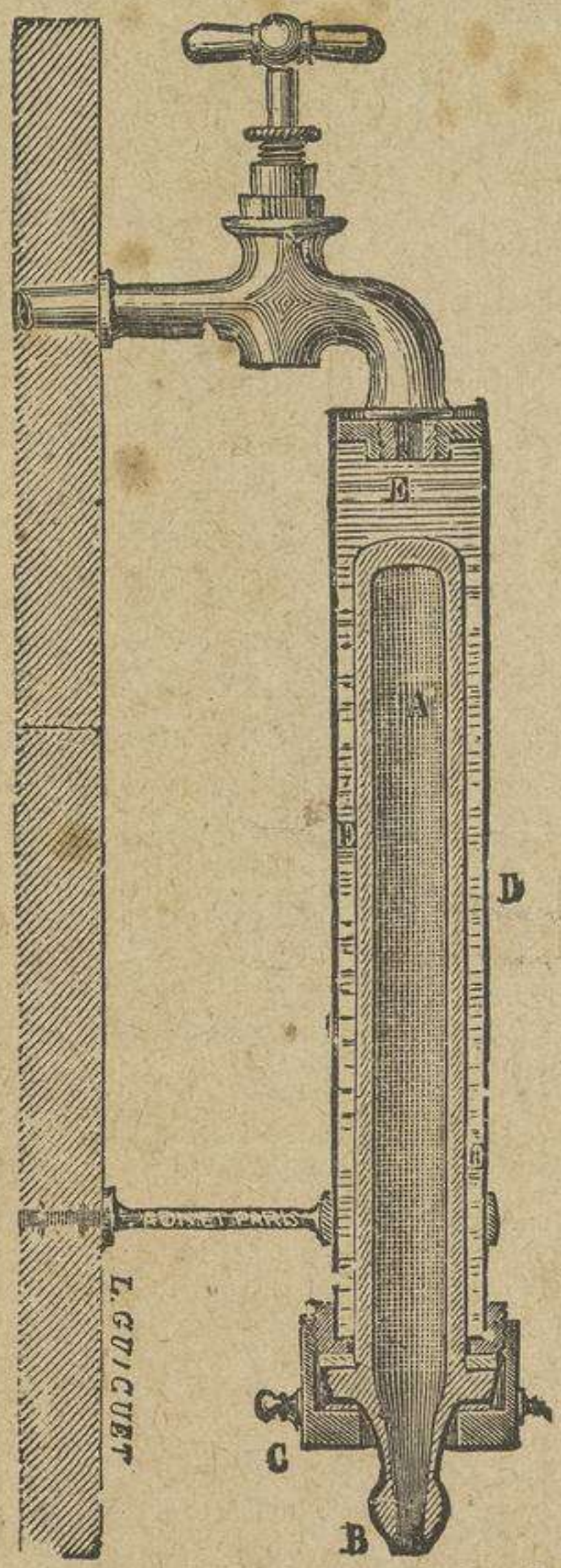


Fig. 16.—Bujía Chamberland.

Pero estas manipulaciones, más ó menos complicadas, son también aplicables á los filtros porosos, cuyo rendimiento es mayor y son por tanto preferibles. Tales son las fuentes filtrantes de gres natural, y sobre todo los filtros de sílice aglomerada. Estos últimos se fabrican con tierra de infusorios sometida á una fuerte presión y perfectamente homogénea. Se da entonces al volumen obtenido la forma que se desea, torneándole y ahuecándole.

Formados de sílice pura perfectamente inalterables estos filtros, producen más que los de porcelana y dan del mismo modo un agua perfectamente estéril cuando son nuevos. Se hallan naturalmente sujetos á las mismas críticas que las bujías Chamberland. Los Sres. Howatson las combinan con los filtros de pola-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

rita de que ya hemos hablado. Esta manera de proceder es ciertamente muy ventajosa, porque asigna á la bujía silícea su verdadero papel, que es puramente mecánico. La acción oxidante de la polarita, que parece incontestable, se encarga de la purificación química, y el rendimiento del filtro queda invariable en cuanto á cantidad y calidad. Por lo demás, después de mucho tiempo se ha tratado de establecer semejante disposición para el filtro de Chamberland, ya llenando de arena el espacio que contiene la bujía, ya desbastando el agua á través de una capa de arena y carbón, formando un primer filtro.

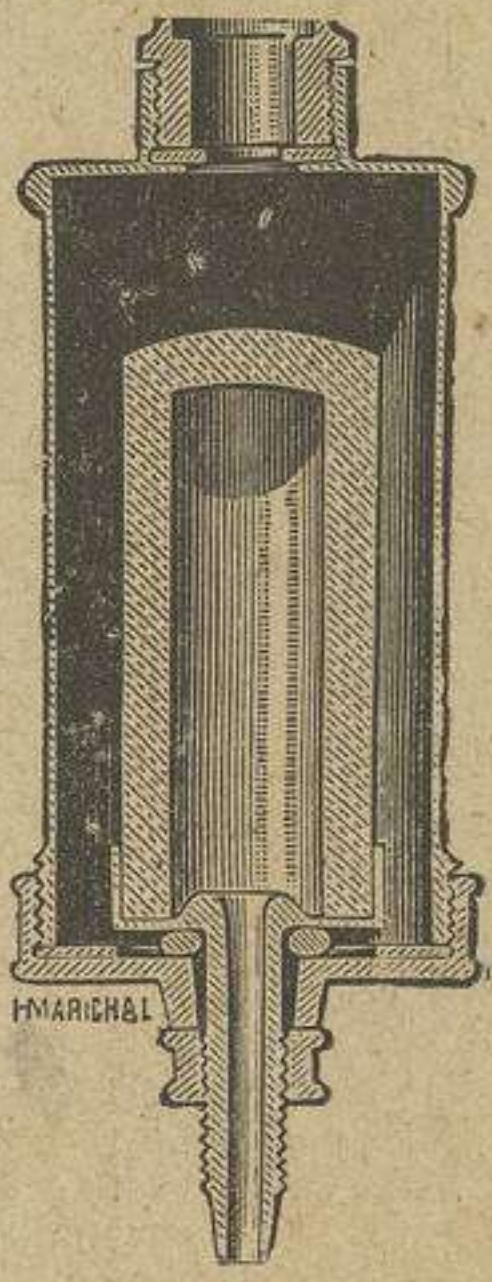


Fig. 17.

Combinando una bujía silícea de gran rendimiento, como la que acabamos de describir, con un filtro oxidante de arena, sistema Robert, de que ya hemos hablado, se obtendrá verosímilmente una seguridad perfecta y un aparato de un empleo muy práctico.

Digamos, para terminar con las bujías filtrantes, que se construyen aparatos en los que se obtiene artificialmente la presión del agua con el auxilio de una pequeña bomba montada sobre el filtro.

Debemos decir algunas palabras de las bujías de porcelana de amianto, que constituyen los filtros Mallié y los de otras diversas marcas. Múltiples experiencias han demostrado que este cuerpo filtrante posee poros más finos y regulares que el bizcocho de porcelana, y era el más perfecto cuando se trataba de obtener una filtración rigurosa. La perfecta inalterabilidad del amianto facilita su esterilización por el calor; por lo demás, parece que este filtro es mucho más permeable á los microbios que los de porcelana limpios. Como en todos los filtros análogos, es conveniente que preceda á la bujía de porcelana de amianto un depurador de carbón que retiene las impuridades más gruesas y aumenta la duración de la superficie filtrante. El rendimiento de ésta es bastante pequeño, y las observaciones que hemos hecho con este motivo se aplican igualmente á estos filtros, que deben recomendarse cuando se desee tener una esterilización rigurosa del agua en tiempo de epidemia. Como todos los aparatos análogos, las bujías de porcelana de amianto pueden estar agrupadas de diversos modos, según la

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

presión de que se dispone, la importancia de la instalación, etc. Los filtros Garro están también fundados en el empleo de la porcelana de amianto (1).

La esterilización del agua por los agentes químicos ha suministrado resultados ventajosos, y puede producir servicios en algunos casos especiales.

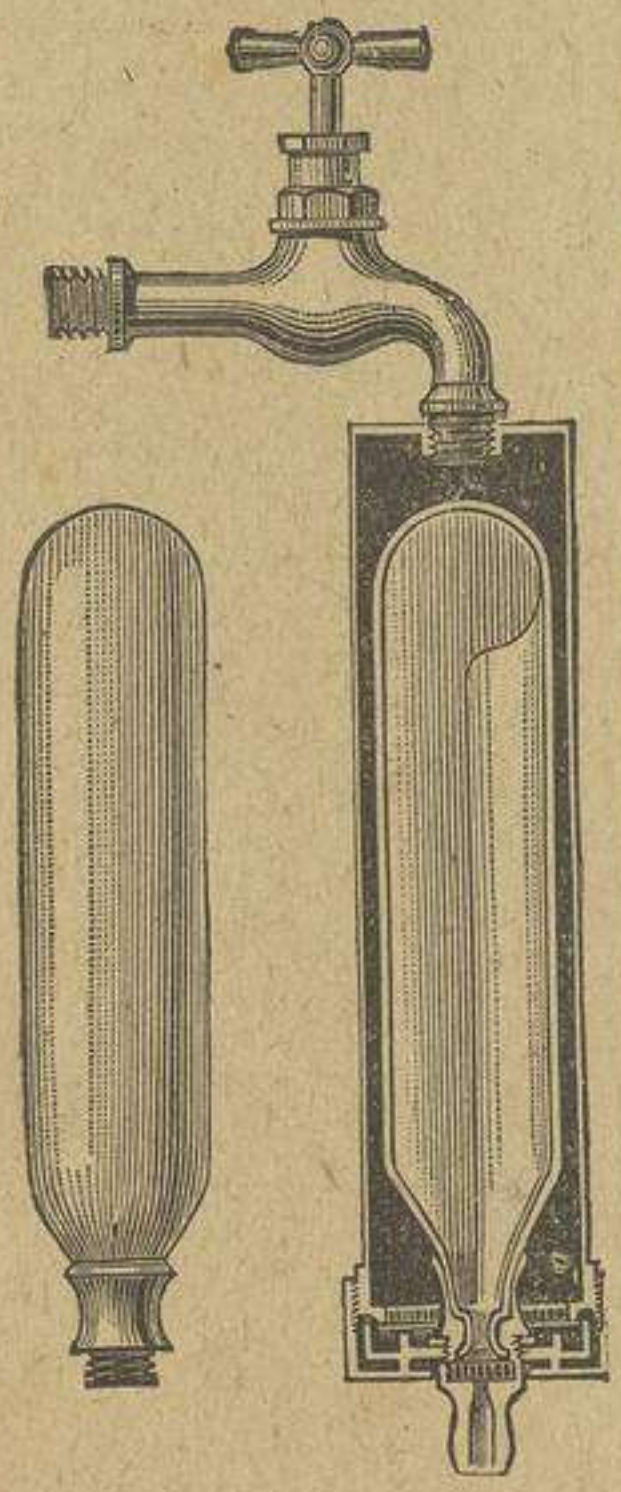


Fig. 18.

Puede quererse combinar esta operación con la purificación del agua, en el caso muy frecuente que se trate de un agua selenitosa, á la que quiera restituirse sus propiedades de cocer las legumbres y disolver el jabón. Una adición de carbonato ó bicarbonato de sosa precipita la cal y da, después de la filtración, un agua purificada, pero no es estéril. Con el sulfato de alúmina, además, se forma un precipitado de alúmina gelatinosa que arrastra los microbios. Se ha tratado, pues, de combinar estas acciones, componiendo un polvo depurador, como el de Maignen, con una mezcla de cal viva, carbonato de sosa y alumbre, á la que Burlureaux añade un poco de sulfato de hierro.

Los filtros fundados en el empleo del hierro metálico ó sus sales, que hemos examinado, entran en esta categoría y no volveremos sobre ellos. Los permanganatos de potasa y cal, que se han preconizado desde hace poco, parece que han dado buenos resultados. Estas sales destruyen las materias orgánicas en frío ó por

(1) Los filtros de porcelana de amianto son indudablemente los que responden mejor á las necesidades de la higiene, según los datos que ha comprobado la ciencia. Con indiscutible justicia obtuvieron en 1893 en París el premio Montyón, otorgado por la Academia de Ciencias.

En España se ha establecido una empresa que ha contribuído poderosamente á la propagación de dichos filtros, cuyos trabajos han merecido diploma de honor en la Exposición de Higiene celebrada en Madrid en 1898, con motivo del IX Congreso de Higiene y Demografía. Los efectos de los referidos filtros han sido apreciados por el catedrático de la Facultad de Medicina de Madrid doctor Cajal, y después de un brillante informe del mismo, se han adoptado en dicho centro, así como en otros establecimientos públicos. Son muy necesarios, hasta en las casas particulares.

(N. del T.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

la ebullición, y aun en su empleo se ha fundado un procedimiento de valoración de estas materias. Los microbios se destruyen al mismo tiempo, y como los permanganatos se usan á dosis muy escasa, son casi inofensivos y de fácil empleo, y constituyen un buen método de depuración. Hemos visto, por lo demás, que se habían propuesto por Guinochet para la esterilización completa del filtro de Chamberland, pero pueden emplearse más sencillamente disolviéndolos en agua á la dosis de algunos centigramos. El permanganato de potasa es una sal de un hermoso color violeta; la sal de cal se presenta en agujas pardas delicuescentes. Las dos, en contacto de las materias orgánicas, se descomponen en óxido de manganeso y en sales de potasa ó de cal; 1 ó 2 centigramos por litro bastan, sobre todo para la última sal, para destruir completamente los microbios de un agua poblada de ellos; pero se puede añadir sin inconveniente una proporción mayor, porque es fácil de descomponer el exceso de permanganato que queda en el líquido; basta para ello añadir una materia orgánica inofensiva, tal como un polvo vegetal, una infusión de café ó el marco de esta infusión.

El permanganato de cal, más soluble y de acción más enérgica, más inofensivo también que las sales de potasa, se ha recomendado con este objeto por los señores Girard y Bordas, y forma la base del producto conocido con el nombre de *monol*.

Se ha recomendado igualmente el ácido cítrico, que á la dosis de 1 gramo por litro detiene el desarrollo del bacilo tífico y el del cólera.

Añadiremos, en último lugar, que se puede, en caso de epidemia, esterilizar con más seguridad el agua destinada á la bebida por medio del calor, á una presión determinada. Las botellas de cerveza, provistas de una armadura de caucho, son muy convenientes para este uso; se llenan hasta el cuello, y se colocan en un baño de maría hasta la ebullición. Se debe este procedimiento á Grimbert. El surtido en los buques de agua potable es un punto que ha mucho tiempo deja bastante que desear. Se embarcaba primero el agua en grandes cubas de madera. Los sulfatos se reducían á sulfuros en contacto de la sustancia vegetal y el agua exhalaba muy pronto un olor sulfhídrico. Se depuraba á la larga, y después de haber estado *podrida tres veces* resultaba el agua potable. Los ingleses son los primeros que han embarcado el agua en cajas de palastro, evitando, por este sencillo medio, al menos la necesidad de beber el agua podrida. Después se ha

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tratado de hacerlo extensivo á cantidades considerables, que era necesario embarcar en cada viaje y que los peligros del mar podían hacer insuficientes. Después de muchos ensayos se decidió la cuestión por destilar el agua del mar, y hacia el año 1840 recibió esta idea una consagración práctica en las cocinas destilatorias Rocher, todavía en uso en algunos barcos de vela.

El calor perdido de las cocinas se emplea en calentar el agua de mar que se va á destilar en un serpentín enfriado. El agua circula por todo el aparato por la simple diferencia de densidad y llega directamenfe del mar por las aberturas de la cubierta.

La navegación por el vapor ha suministrado un medio cómodo de tener agua dulce, tomando de las calderas una parte de la enorme cantidad de vapor que suministran. Las máquinas marinas están provistas de condensadores en la superficie, que recogen todo el vapor producido y lo envían á la caldera después de haber emulsionado las grasas que sirven para lubrificar los órganos de las máquinas. Semejante agua de condensación no es ya potable y se han debido adoptar disposiciones especiales. Se hace uso de calderas en las que se introduce el agua del mar y se calienta por una corriente de vapor.

En este sistema, el vapor que viene de las máquinas calienta una primera capacidad llena de agua del mar. El vapor procedente de ésta va á condensarse á un segundo recipiente. En cuanto al vapor directamente condensado, puede emplearse en el lavado de la ropa.

La caldera Cousin es una de las más usadas. Es un cilindro de palastro vertical y dividido en dos espacios superpuestos. A la parte superior llega el agua del mar que viene de fuera, y en la parte inferior está el departamento de vapor, más pequeño. El compartimiento superior está dividido en dos partes por un doble diafragma, convexo por abajo, cóncavo por arriba y perforado. Por bajo del diafragma inferior se halla el agua de mar, cuya admisión se regula por medio de un nivel. El vapor ingresa en un sistema de tubos verticales y el producido por la ebullición del agua del mar, dividido en gotitas por la acción de diafragmas perforados, se escapa por el vértice del aparato y va á condensarse en un serpentín de gran superficie.

En la caldera Mouraille, las disposiciones son muy poco distintas. Los diafragmas se suprimen y se reemplazan por un tronco de cono invertido, colocado por cima de un ancho tubo en forma de embudo que excede poco del nivel del agua. La su-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

perficie de calefacción es más extensa, y las proyecciones de agua de los pequeños tubos de vapor vienen á romperse en el embudo, donde la ebullición es menos tumultuosa.

En estos dos sistemas, el condensador está separado de la caldera y es de diferente forma. Las dos partes están unidas al sistema Normandy. El vapor entra en un calentador tubular colocado en la parte inferior de un cilindro vertical. El vapor producido por el agua del mar pasa en seguida por un ancho tubo á un segundo cilindro parecido, donde circula agua del mar que se ha de calentar. El condensador donde destila este vapor no difiere del calentador sino por sus dimensiones mayores, y se compone como él de tubos verticales que desembocan en especie de conchas en dos piezas reunidas por clavijas de hierro y fáciles de limpiar en caso de obstrucción. El agua, al salir del condensador, pasa por un filtro y vuelve en seguida á los depósitos de la sentina, donde llega fría.

El empleo del agua destilada á bordo de los buques no parece tener los inconvenientes que durante mucho tiempo se le han atribuído. Su extraordinaria pureza y su carencia absoluta de sales hacían creer que era impropia para la alimentación. La experiencia ha demostrado que no era exacto, lo cual no quita su valor á las experiencias hechas para demostrar la necesidad de las sales calizas en el agua potable. Se ha tratado solamente de airearla, lo que se consigue por una corriente de aire que se inyecta, ó bien haciéndola llegar en forma de lluvia á un espacio lleno de aire. Los únicos inconvenientes que puede presentar el uso del agua en los buques proceden de que las soldaduras de las tuberías se hacen por medio del minio. De aquí resultan cólicos saturninos, que aunque muy raros sería fácil hacerlos desaparecer en absoluto. Digamos de pasada que los numerosos análisis efectuados continuamente en el Observatorio de Montsouris, en las aguas que surten á todo París, han puesto de manifiesto la ausencia de este metal tóxico, cuyo temor se renueva de tiempo en tiempo.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

CAPÍTULO VI

DEPURACIÓN DE LAS AGUAS INDUSTRIALES, SEPARACIÓN DE LOS POSOS (DESTARTRADO)

La composición del agua es indiferente para algunos usos industriales, como el lavado de los minerales. Es raro, sin embargo, que así sea, y con frecuencia hay interés en que las aguas de que se hace uso sean todo lo puras posible. Las aguas industriales pueden contener materias orgánicas en suspensión y sales disueltas. Los cuerpos en suspensión son siempre nocivos, en razón á la facilidad con que las sustancias sometidas á su acción los fijan en su superficie. En los tintes de seda de Lyón no se ha llegado á obtener un blanco tan bello con el agua del Rhône, siempre cargada de légamo, sobre todo durante las crecidas.

Las sales disueltas en el agua del mar la hacen impropia para todo uso. En frío, y sobre todo en caliente, ataca con rapidez los conductos de fundición y las planchas de palastro con que se halla en contacto, sobre todo en las junturas, y el agua, mucho menos rica en cloruros y en sales delicuescentes, es todavía impropia para la alimentación de las calderas de vapor.

Las sales de hierro que contienen algunas aguas dan, en contacto de las materias orgánicas, compuestos de color pardo ó negro, de los cuales es un ejemplo la tinta ordinaria. Las tintorerías y fábricas de curtidos deben con todo rigor rechazar estas aguas ferruginosas.

Pero el inconveniente mayor que presentan las aguas para su empleo industrial es la presencia de las sales calizas, que las hace *duras* ó *crudas*. Estas aguas no pueden cocer bien las legumbres, y á pesar del exceso de jabón, dan en el lavado de las telas un color menos blanco. Es que, en el primer caso, la sal cálcica se combina con los elementos de los vegetales y se deposita simplemente en su superficie, formando en todo caso un obstáculo á la cocción.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

En el segundo caso, el jabón se combina con la cal, y la mezcla de estearato y oleato de potasa y sosa que le constituye se transforma en sales correspondientes cálcicas insolubles. Es fácil, por lo demás, traducir en cifras los inconvenientes que resultan de estos hechos, y el método hidrotimétrico, fundado precisamente en esta propiedad del jabón, es un ejempo notable. La cantidad necesaria de jabón para quitar la mugre á 100 kilogramos de seda varía de 18 á 35 kilogramos, según que se empleen las aguas del Sena ó las de los pozos de Lyón, y se concibe qué cantidades enormes de jabón pueden emplearse para el empleo de las aguas crudas en poblaciones donde el consumo de este producto se cifra en miles de toneladas. Un blanqueador, lavador de lana, tintorero, que emplea, por ejemplo, 100 metros cúbicos de agua diarios que tengan 30 grados hidrotimétricos, realizará, sirviéndose de un agua pura que sólo tenga 4 grados, por ejemplo, una economía diaria de 260 kilogramos de jabón. Y es necesario notar que 30 grados es una cifra muy extendida; muchas aguas de pozos y estanques de París tienen una valoración mayor. La presencia de las sales cálcicas es, por lo demás, igualmente perjudicial, porque hace los tejidos quebradizos, deslustrados y ásperos al tacto.

Las fábricas de azúcar no pueden emplear para la difusión de las remolachas de azúcar aguas muy cargadas de cal, y el rendimiento de esta operación es proporcional á la pureza del agua; lo mismo sucede para el tratamiento, muy extendido, de las melazas por los dializadores. Esta cuestión es de una importancia al menos igual para las cervecerías, donde las buenas cualidades de sus productos se deben á la pureza de las aguas que emplean.

Los carbonatos calizos actúan en la operación del maltaje, como en la cocción de las legumbres, se combinan con los principios vegetales de las semillas y se oponen á su reblandecimiento. Las fermentaciones no se efectúan bien en el seno de las aguas muy calizas, y en el sistema, de ordinario muy complicado, de los serpentines recalentadores y condensadores y de las columnas para rectificar de las fábricas de destilación, las aguas calizas pierden por la ebullición sus sales y producen incrustaciones. No puede, por otra parte, hacerse uso de ellas para la graduación de los alcoholes y licores, operación de las más delicadas y que exige un agua muy pura.

Pero el mayor inconveniente de las aguas calizas es el que presèntan en la alimentación de las calderas de vapor, dando ori-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

gen á incrustaciones. Sometidas á la ebullición constante, las aguas de las calderas abandonan su ácido carbónico (anhidrido), y de este modo se separan diversas combinaciones de cal, magnesia, alúmina, óxido de hierro, sílice, etc. Son depósitos que concluyen por acumularse formando costras sólidas, de estructura y cantidad muy variables, pero que perjudican al funcionamiento de la caldera, la deterioran y pueden ser causa de accidentes en algunos casos.

De estos depósitos, unos son divididos, porosos, otros extremadamente duros y compactos. Las incrustaciones son grasientas, fibrosas, estratificadas, formadas generalmente de cristales imbricados y de color pardo, gris ó rojo. Muchos son granujientos al tacto y presentan una textura más unida en el contacto con las paredes.

Por el análisis, las incrustaciones más ordinarias aparecen formadas, en gran parte, de sulfato y carbonato de cal, y deben sobre todo á la primera sal su aspecto y su dureza. El carbonato puede, á decir verdad, dar igualmente concreciones duras, pero mucho menos que el yeso, á causa de la tendencia de este último á cristalizar. Las materias grasas dan alguna vez también incrustaciones, y están entonces formadas en parte por jabones calizos que el agua no moja.

El espesor de estos depósitos, muy variable, oscila entre algunos milímetros y 5 á 10 centímetros, según la naturaleza de las aguas, los puntos que se consideren en la caldera y el trabajo que realice. Son en general más fuertes en los puntos más calentados.

De cualquier modo que sea, los inconvenientes de las incrustaciones son siempre muy marcados. Muy poco conductoras, dan al metal un espesor aislador que perjudica mucho á la transmisión de la temperatura y aumenta de un modo notable el consumo del carbón. En ciertos momentos se necesita enrojecer las chapas para obtener en el interior la presión necesaria, y de aquí resulta una debilitación mecánica de las paredes de la caldera y un acceso más fácil á los agentes de oxidación y sulfuración. Las incrustaciones exponen á otros peligros de explosión, que se refieren á los fenómenos de calefacción.

Cuando cae una gota de agua sobre una superficie calentada al rojo, esta gota toma la forma esférica y gira sin tocar la superficie enrojecida. Llega un momento en que encuentra una porción menos calentada y se resuelve instantáneamente en va-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

por. El hecho puede producirse cuando una placa de incrustación se destaca de una caldera. La brusca evaporación del agua, en contacto con la pared sobrecalentada, puede producir un aumento de presión que los aparatos de seguridad son impotentes para regular.

Con independencia de estos graves inconvenientes, ofrecen con frecuencia las incrustaciones de las calderas grandes dificultades para la limpieza, siendo inaccesibles en el punto donde más se depositan y deteriorando siempre las planchas, por la precisión de quitar esos estorbos á fuerza de buril y martillo.

Los depósitos pulverulentos son menos graves y también el origen de numerosas molestias. Los arrastra mecánicamente el vapor, obstruyen los conductos de salida y perturban la marcha de los cilindros de vapor.

Por estas ligeras indicaciones se ve la considerable importancia industrial que tienen las aguas purificadas, y por tanto que á esa purificación se han dirigido todos los esfuerzos. Para la alimentación de las calderas marinas, donde el agua está muy cargada de sales corrosivas, como los cloruros, ó muy incrustantes, como el sulfato de cal, es el agua del mar de las peores para el uso á que se destina entonces. Se ha tratado de resolver el problema haciendo en la caldera limpiezas frecuentes por una corriente de vapor, y que, arrojando el agua de la caldera, arrastra al mismo tiempo los depósitos en suspensión, antes que hayan podido formarse costras sólidas. Después el empleo de las calderas multitubulares, haciendo muy delicada la limpieza de las incrustaciones, ha realizado la alimentación por el agua destilada que suministran los condensadores de gran superficie. Todo vapor, después de haber suministrado el trabajo útil que toma del combustible, vuelve á pasar al estado líquido, y el calor que cede durante este cambio de estado se emplea en destilar en parte la corriente de agua de mar que circula por el condensador. La misma cantidad puede servir casi indefinidamente, quedando toda ella despojada de sales.

Cuando las aguas retienen solamente en disolución bicarbonato de cal, formado á favor del ácido carbónico, la ebullición, expulsando este último ácido, produce el depósito de cal al estado de carbonato insoluble. Si se trata de producir el depósito en una parte de la caldera donde no haya inconveniente, ó en un aparato aparte, se tendrá un medio fácil de prevenir las incrustaciones procedentes de este origen.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Se han ideado disposiciones semejantes desde hace mucho tiempo. Para las calderas de baja presión, Dumery emplea primero recipientes puestos á los lados de la caldera y donde las materias en suspensión podían depositarse al abrigo de las corrientes.

Aparatos más eficaces están fundados en la calefacción del agua cerca de su punto de ebullición, por medio de una corriente de vapor que circula en sentido inverso. De este modo se obtiene por una parte el depósito de carbonato de cal, y por otra una economía de combustible que resulta de volver á calentar el agua. Los aparatos de Wagner, Meyer, Schan y Haswell están fundados en este principio y ofrecen disposiciones parecidas. Consisten en una cúpula metálica, á la cual, llegando el agua por la parte superior, circula por una gran superficie de platos dispuestos en trampa, y se halla sometida á la acción del vapor que llega por la parte inferior. En los aparatos Wagner y Schan no hay más que platos superpuestos, plano el primero, que se limpia por medio de puertas laterales, y algo cóncavos y anulares los demás. El aparato Meyer comprende además un depósito anular, donde se reunen las materias precipitadas, mientras que el agua decantada sale por un reborde y se vierte en la caldera. El aparato Haswell difiere de los anteriores en que es horizontal. Es un ancho tubo colocado en la parte superior de la caldera y provisto de gran número de tabiques en trampa. Estos aparatos se han

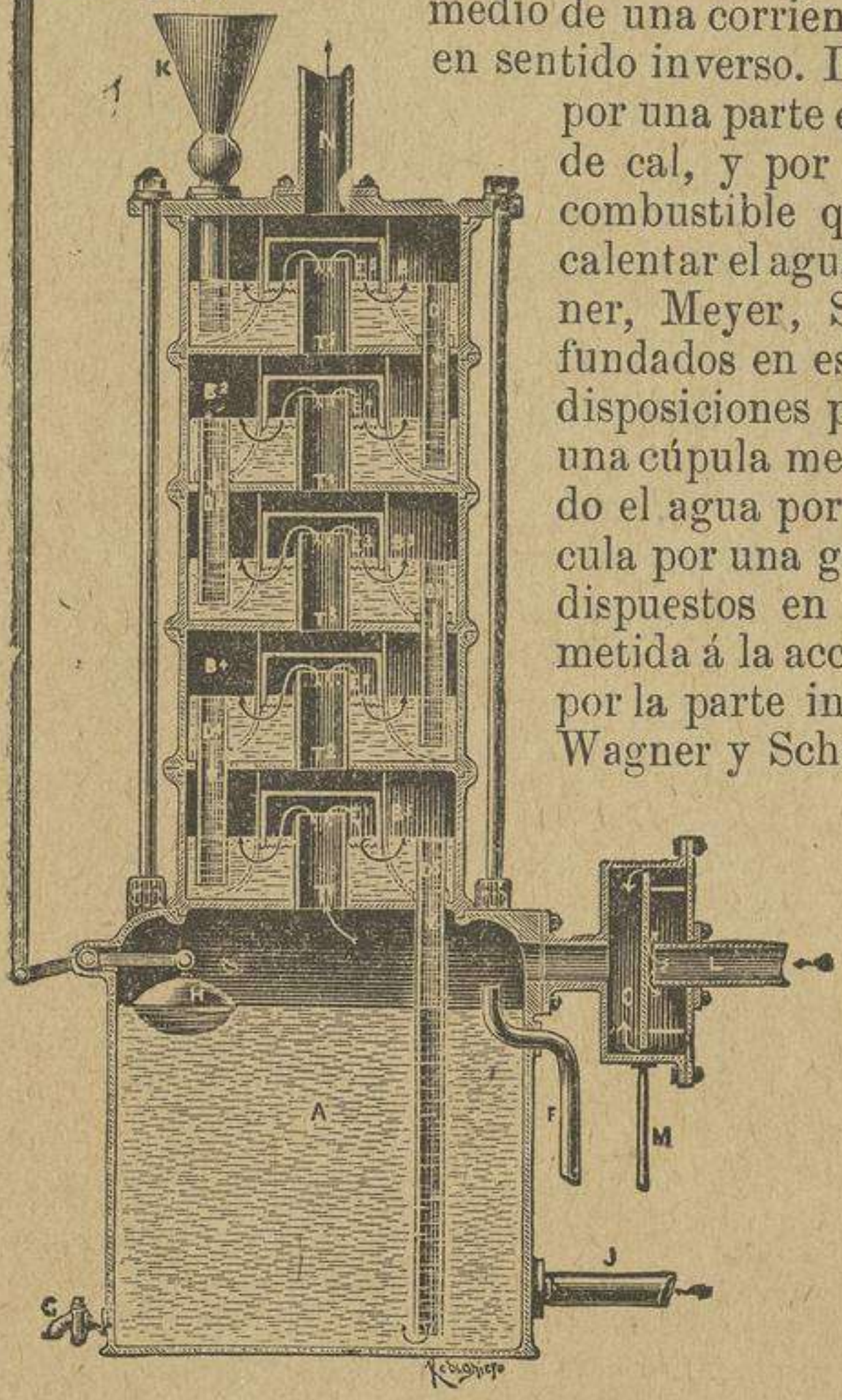


Fig. 19.—Aparato Chevalet.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

aplicado á las locomotoras, á las que se presta muy bien su forma. Pero no parecen dar resultados suficientes desde el punto de vista de la precipitación de la cal, y en este concepto son inferiores al aparato Chevalet, que vamos á describir. Este no es aplicable sino á las máquinas fijas, y está fundado en los mismos principios que las columnas destilatorias, que tienen aplicación en gran número de industrias.

Se compone de un número variable de elementos semejantes y superpuestos, de ordinario en número de cinco. Cada uno de estos elementos es un corto y ancho cilindro, cerrado por la parte inferior y que lleva en el centro de esta base un tubo ancho, abierto por los dos extremos y más corto que la altura del espacio.

Este tubo está cubierto por una cápsula invertida, cuyos bordes dentados se sumergen por bajo del nivel del agua que llena el cilindro hasta un nivel constante. Se obtiene este resultado por medio de un tubo de comunicación que, partiendo de la superficie del líquido, atraviesa el fondo del cilindro y sale cerca del fondo del elemento siguiente.

Los espacios están reunidos por tirantes de hierro y la columna está colocada por la parte inferior de un depósito que sirve para retener el agua depurada. El tubo comunicante de los dos últimos espacios se sumerge hasta el fondo de este depósito, y el agua impura llega, por el contrario, al espacio superior. La llena hasta el nivel del tubo, se vierte entonces, y así sucesivamente en todos los demás cilindros hasta la parte inferior. Durante este trayecto está sometida á la acción de una corriente de vapor, que saliendo al depósito inferior penetra en el último espacio, se refleja bajo el casquete del tubo central y choca con el agua del espacio, dividiéndose gracias al borde dentado del casquete; pasa al segundo espacio, y así sucesivamente hasta el vértice, por donde sale.

De aquí resulta un contacto prolongado del vapor y una precipitación completa de la caliza, que se deposita en las paredes de los espacios. La forma sencilla de los elementos y ser fácil su desarme facilita extraordinariamente su limpieza.

A la acción purificadora sobre el agua potable reune este aparato la circunstancia de calentar notablemente el agua purificada. Cuando se opera con máquinas provistas de condensadores, la economía de calefacción que resulta de aquí es poco sensible y el aparato no tiene más que el considerable beneficio de una depu-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ración muy satisfactoria; pero cuando se trata de máquinas sin condensación, el purificador es un medio muy práctico de utilizar el calor que posee el vapor de salida, haciendo hervir el agua que alimenta las calderas. La economía de combustible puede ser entonces muy sensible. Se aumenta todavía valiéndose para alimentar el purificador del agua ya calentada por la condensación de los últimos vapores. Se elimina al mismo tiempo esta agua de las materias grasas que arrastra y que se fijan en los depósitos calcáreos del aparato.

Añadiremos que el vapor que atraviesa la serie de espacios pasa, antes de ser admitido en el aparato, por una caja plana, donde choca contra una placa transversal. De este modo abandona las gotitas de aceite del engrasamiento de que pudiera estar cargada.

Los destartradores de que acabamos de hablar no pueden convenir más que á las aguas calizas que contienen exclusivamente carbonato de cal, como agente incrustante. Estas aguas son las más comunes, pero es también muy frecuente encontrar aguas selenitosas, cuyo sulfato de cal no podría eliminarse por este tratamiento. Entonces es cuando hay necesidad de que intervengan los reactivos químicos, únicos capaces de determinar la purificación del agua. En lugar de servirse de aparatos destartradores que funcionan con las máquinas y por su mediación, se prefiere entonces depurar en frío, fuera de las calderas, el agua de la alimentación. Con esta reserva del agua almacenada en un depósito es con lo que se alimenta las máquinas. Otras veces basta añadir á las calderas las materias destinadas a prevenir las incrustaciones.

Los Sres. Bohlig y Heyme parten del hecho de que las aguas que producen incrustaciones en las calderas son las que contienen, con el sulfato de cal, bicarbonato de cal y de magnesia. El hidrato de magnesia, procedente de la descomposición del último de estos cuerpos, contribuye á aumentar el espesor del tártaro. Pero si no hay en el líquido más que sal magnesiana, no se aglomera y se deposita bajo la forma de una papilla ligera muy fina y muy dividida. El problema se reduce, pues, á eliminar la sales calcáreas sin preocuparse de las sales magnesianas. Se consigue esto por medio de un exceso de hidrato de magnesia. Este cuerpo reacciona sobre el bicarbonato de cal, dando cal y bicarbonato de magnesia. El sulfato de cal se transforma en carbonato, sobre el que la base magnesiana puede actuar del

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

mismo modo. Un agua incrustante puede, pues, despojarse casi en totalidad de su cal y no dejarle más que la magnesia, cuya presencia no tiene inconveniente.

Primero se contentaban con agitar el agua con magnesia, filtrando después de la clarificación. Se ha reemplazado este método primitivo por un aparato más complejo, llamado *batería de depuración*. Una serie de cilindros reunidos entre sí están llenos de virutas de madera de largas fibras, en cuya superficie se apoya el hidrato de magnesia. El agua se despoja de la cal, recorriendo los cilindros. Se reconoce que el primer cilindro está apurado cuando el agua se enturbia, tanto á la salida como á la entrada, por el oxalato amónico, que es el reactivo de la cal. Se le separa entonces y se reemplaza por un cilindro nuevo. Se puede calcular de antemano este momento. El agua circula en el aparato después de haber adquirido la temperatura de 70 á 80°. Se ha reconocido que salía menos cargada de magnesia, lo que es ya una ventaja, y que además el aparato dura más, puesto que la magnesia que no ha sido arrastrada sirve de reactivo. Se puede, pues, en estas condiciones depurar con el mismo material un volumen de agua doble del que se trataría en frío.

Los resultados suministrados por el aparato son los siguientes: el agua fría, antes de la purificación, contenía por metro cúbico 171 gramos de cal y 33 de magnesia; á la salida del aparato no contiene más que 12 gramos de la primera base, cuando contiene por el contrario 163 de magnesia. El tratamiento por el calor de un agua muy próxima en composición ha permitido reducir de 183 á 7 gramos la proporción de cal.

Cuando no se aspira más que á la eliminación del carbonato de cal, se ha recurrido con frecuencia á la cal viva como agente purificador; este método se pone en práctica, por ejemplo, en los caminos de hierro del Norte de Francia, donde se ha encontrado por parte del personal una resistencia bastante enérgica, ante la imposibilidad de comprender la razón por qué se añadía cal al agua que ya contenía demasiada. El hecho se explica fácilmente si se reflexiona que la sal cálcica en disolución es bicarbonato de cal, que se descompone muy fácilmente cuando se le llega á quitar el ácido carbónico por cualquier medio que sea, dando carbonato insoluble. Los destartradores de vapor obtienen este resultado por medio del calor, pero se puede también obtener saturando el exceso de ácido carbónico por la cal. El bicarbonato no puede ya mantenerse en disolución, y toda la base calcárea conte-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

nida en el agua ó añadida en exceso se precipita al estado de carbonato insoluble. Basta dejarla en reposo para obtener después de la decantación un agua que no contenga ya sal cálcica. Importa mucho analizar cuidadosamente el agua en cuestión, y determinar la cantidad de reactivo necesaria, según el grado hidrotimétrico encontrado. Todo exceso de cal resultará nocivo y la depuración será ilusoria.

Esta práctica es de las más sencillas. Basta añadir al contenido de una pila la cantidad necesaria de agua de cal, agitar para realizar una mezcla íntima y dejarla de alimentar. Se filtra el agua para mayor seguridad á través de esponjas ó viruta de madera, y se dispone á cada lado un grupo de depósitos que baste para la alimentación, teniendo uno de sus elementos cargados. Con cuatro depósitos se puede de ordinario establecer un turno de consumo tal, que el agua tenga tiempo de depurarse y clarificarse casi por completo antes de su paso al filtro que hemos descrito en otro capítulo.

Cuando las aguas contienen á la vez sulfato y carbonato de cal, se añade al reactivo carbonato de sosa. El sulfato de cal se transforma de este modo en sulfato de sosa, al mismo tiempo que el bicarbonato de cal se transforma en carbonato neutro. No hay inconveniente en mezclar el agua de cal y el carbonato de sosa en el seno del agua que se va á depurar, y basta prepararlos separadamente. La cantidad se regula según los análisis del aire, y la disposición de los aparatos depuradores puede ser variable. Solamente se sobrepone el depósito de agua depurada de una especie de departamento, donde se preparan los reactivos. Estos salen entonces por medio de llaves en cantidades convenientes. Lo importante es que recorra el agua mezclada con el reactivo un camino bastante largo para que la reacción se complete bien. En algunos aparatos, como los de los Sres. Howatson, las aguas mezcladas con el reactivo descienden por un ancho tubo cortado en bisel y que forma como un compartimiento interior en una cuba cilíndrica. El agua sube entonces á esta cuba para volver á tomar su nivel, mientras que las impuridades se depositan de un modo más ó menos completo y acaban de separarse atravesando un filtro hecho de virutas de madera ó de serrín. El agua depurada y perfectamente limpia se coloca en un compartimiento superior.

Otros aparatos, con los mismos inconvenientes, funcionan automáticamente. A la cuba principal está unido un cilindro ver-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tical de doble pared, en cuyo interior se vierte la cal por medio de un agitador de paletas. Este recibe su movimiento del agua que se va á depurar por el intermedio de una pequeña rueda de

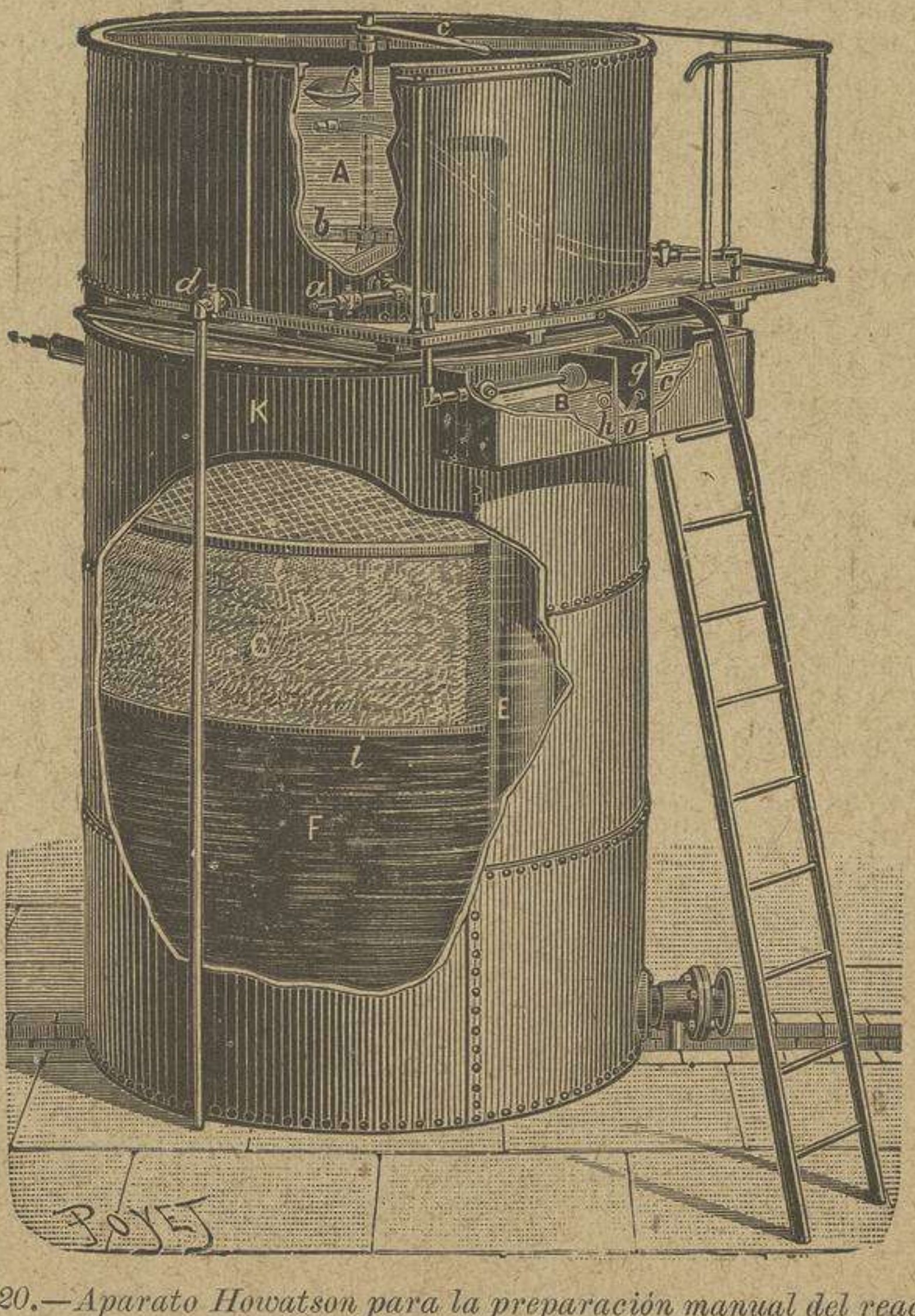


Fig. 20.—Aparato Howatson para la preparación manual del reactivo.

canales que está en actividad. Aclarada el agua de cal, sube entre las dos paredes y se mezcla al agua al mismo tiempo que al carbonato de sosa en el aparato anterior. Un sistema de flotadores permite la clausura automática de las llaves de llegada del agua y de los reactivos.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

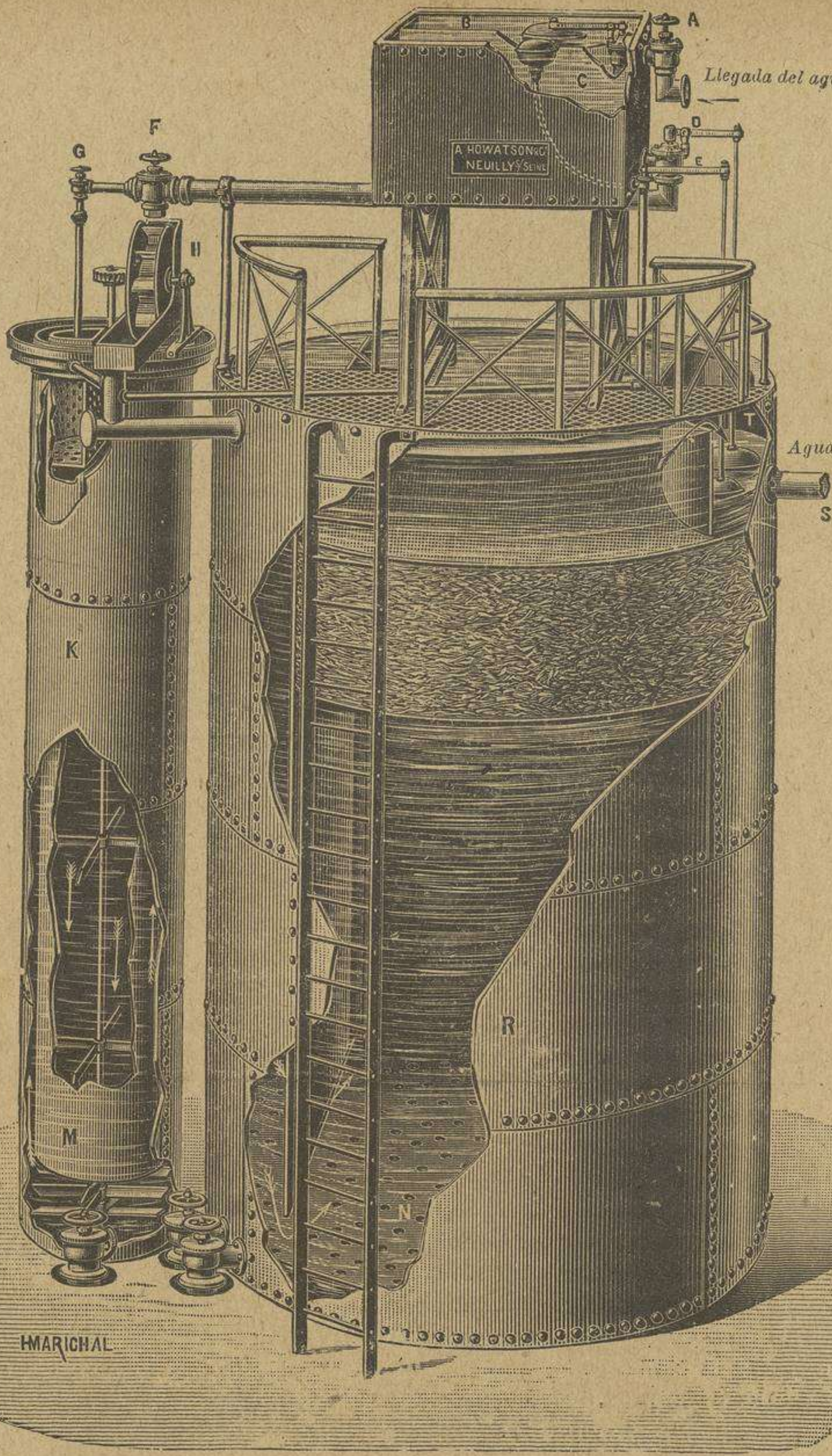


Fig. 21.—Aparato Howatson para la preparación automática del reactivo.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Semejantes aparatos pueden estar acoplados de manera que uno suministre siempre agua depurada, mientras que el segundo está en carga.

En otros aparatos se mezclan en un arca el agua y los reactivos depuradores, y la papilla obtenida se decanta en un depósito bastante alto y terminado por un cono invertido, donde se reunen fácilmente los depósitos, ó bien se ha recurrido á tabiques oblicuos más ó menos complicados, que separan del agua las sustancias en suspensión.

El aparato Desrumaux, recientemente llegado, parece llenar muy bien las condiciones que se exigen á semejantes aparatos depuradores, y muchas fábricas donde necesitan grandes cantidades de agua pura lo han adoptado.

Sus disposiciones son sensiblemente las mismas que en los aparatos anteriores. Es, en suma, un gran depósito de decantación, al que está unido un departamento para la preparación automática del reactivo. El agua de cal empleada se obtiene malaxando el agua que se va á saturar con la cal por medio de una rueda hidráulica que se pone en movimiento por sí misma. Esta operación se hace en un departamento cilindrocónico, cuya parte superior recibe la cal en un pequeño depósito. La parte cónica termina por una columna hueca con válvula por donde se evacua la cal apurada, y en toda la altura del departamento un árbol vertical hueco y provisto de paletas sirve á la vez para el malaxado é introducción del agua que se ha de saturar. La cal con que se carga el recipiente se apaga por sí misma en contacto del agua y desciende por un ancho conducto concéntrico al árbol del malaxador. El agua que se conduce hasta el fondo del malaxador, después de haber servido para poner en movimiento el árbol de paletas, sale de abajo arriba y se satura de cal por su movimiento ascensional. Sale del decantador perfectamente clara, gracias á los tabiques radiados que detienen los remolinos y favorecen la decantación, y va á juntarse en un departamento mezclador el agua que se va á depurar y las soluciones de carbonato de sosa ú otros reactivos que sirven para la depuración. Las sales precipitadas enturbian el líquido que se trata entonces de aclarar. Se consigue esto en el aparato Desrumaux con el auxilio de un decantador que ofrece las disposiciones siguientes: El gran cilindro de decantación tiene en el centro otro cilindro más pequeño abierto en los dos extremos y por el cual se introduce el agua mezclada con reactivo. Cuando sale de él, en la parte inferior,

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

este líquido encuentra entonces una serie de láminas de palastro arrolladas en forma de hélice al rededor del cilindro central é in-

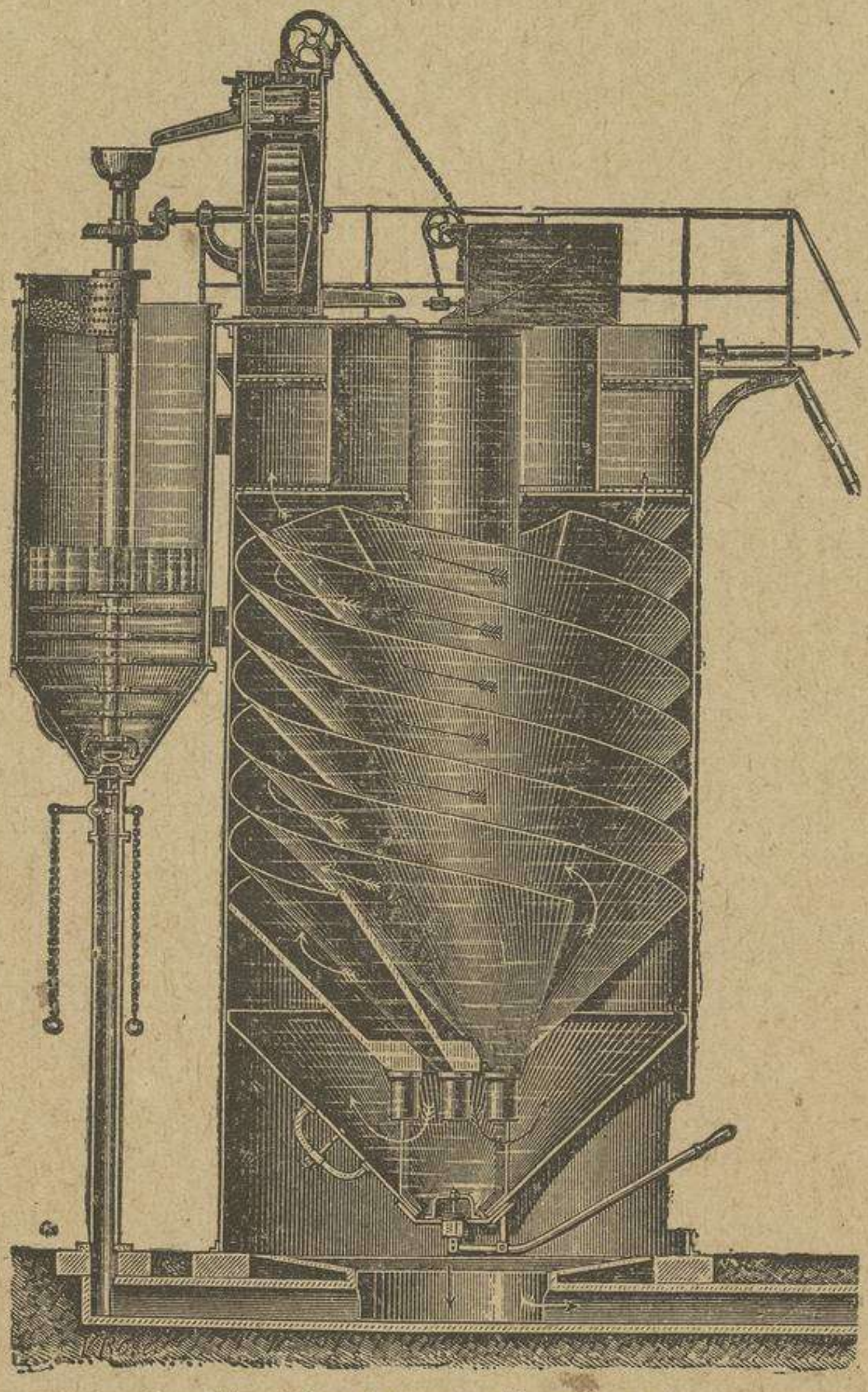


Fig. 22 —Aparato Desrumaux.

clinadas además de fuera á dentro y de alto á bajo. Estas láminas *helicoconoidales* presentan una gran superficie al líquido, que pasa por ellas y las recorre de abajo arriba. Estas láminas delgadas de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

líquido, que recorren un espacio considerable, depositan sus precipitados, que se deslizan por la superficie inclinada de las láminas, se reunen en la parte más inclinada y llegan á los bordes libres de las láminas, cuyos bordes están revueltos en forma de bolsa, abriéndose en el fondo cónico del decantador. Basta abrir la válvula del vaciado para expulsar estos lodos.

El agua se toma en la parte superior, después de haber atravesado un filtro. El sistema de láminas helicoidales se limpia muy fácilmente por una corriente de agua, y el aparato tiene ciertos detalles que aseguran la depuración automática y la distribución regular de los reactivos.

Los aparatos depuradores Desrumaux se completan con filtros de sílex de gran rendimiento, que se emplean sólo en el caso de que sea un agua poco impura. Ofrecen disposiciones bien estudiadas para la distribución del agua en la superficie de la capa filtrante, la inversión de la corriente, que permite la limpieza del filtro, y la disposición de los rastrillos que operan sobre la superficie filtrante.

Un medio que se emplea con frecuencia, cuando no se recurre á los aparatos de depuración, consiste en la adición á la caldera de diversas sustancias que se consideran adecuadas para impedir la formación de depósitos incrustantes. Siendo la cuestión muy importante, se conocen muchas, al menos nominalmente, porque muchas fórmulas, con diversos nombres, no son más que nuevas ediciones de sustancias conocidas y empleadas desde hace mucho tiempo. Todos los antiincrustantes tienen por objeto, no ya impedir los depósitos, sino darles un estado pulverulento que impida su adherencia y haga fácil su expulsión.

Se recomendó primero la mezcla de sebo, grafito y carbón de madera; la adición de resina amarilla, en la proporción de 25 gramos por caballo de vapor. Se ha propuesto también barnizar las paredes de la caldera con brea mezclada con un poco de aceite, medio bastante eficaz, pero que hay que renovar todos los meses.

Otras sustancias tienen por objeto impedir mecánicamente la formación de costras. Son materias pulverulentas insolubles, como las limaduras de hierro, el vidrio quebrantado, las virutas de diversas maderas, como la caoba y el roble; la arcilla, el jabón mineral (especie de silicato de alúmina hidratada), que ha dado muy buenos resultados. Estos cuerpos actúan en el seno del agua como una verdadera pared dividida en porciones muy pequeñas, y las sales que se separan se depositan al rededor de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

estas partículas, de suerte que no pueden producirse más que depósitos muy divididos. Estas materias pulverulentas no dejan de tener inconvenientes, porque pueden ser arrastradas por el vapor á las máquinas y perjudicar su funcionamiento, sobre todo si son susceptibles de rayar las piezas móviles, como el vidrio quebrantado. Es preferible la adición de alumbre ó de sulfato de alúmina. En presencia del carbonato de sosa dan alúmina insoluble, que se precipita al estado gelatinoso y engloba las sales calizas sin que puedan cristalizar y aglomerarse. En este orden de ideas, se han ensayado la mayor parte de las sustancias que pueden dar por la ebullición una solución glutinosa: las patatas, la arcilla, la melaza, el azúcar inferior, la glucosa, las achicorias en polvo, los desperdicios de las pieles de las fábricas de curtidos. Los agentes de esta categoría, bastante eficaces á condición de renovarlos con frecuencia, tienen el inconveniente de dar soluciones viscosas que producen tumefacciones y provocan la ebullición tumultuosa del agua.

La acción del tanino sobre las sales térreas explica el empleo de las virutas de diversas maderas, así como de leños enteros ó troncos verdes, extracto de catecú ó de campeche. El cocimiento de éstos se emplea á la dosis de 1 kilogramo por metro cúbico y cuesta muy barato; su acción es muy eficaz y favorece notablemente la limpieza de las calderas, dando una papilla no adhesiva.

El cloruro amónico se ha propuesto como antiincrustante, porque da con las sales cálcicas, carbonato y sulfato tres cuerpos solubles: cloruro de calcio, sulfato y carbonato amónicos. Su acción es muy lenta é incompleta, sobre todo para el sulfato de cal, y lo mismo respecto á los acetatos de potasa y sosa.

El carbonato de sosa se ha empleado con mucho más éxito y es uno de los mejores desincrustantes. El sulfato de cal se transforma en carbonato sin consistencia, que es facil separar.

La cantidad de carbonato de sosa debe calcularse según un ensayo hidrotimétrico. No libra por completo de todas las incrustaciones, porque el carbonato de cal que precipita puede ocasionar perfectamente costras en las calderas. El aluminato de sosa, que se ha propuesto en lugar del carbonato sódico, parece bien elegido, porque la alúmina gelatinosa que se precipita al mismo tiempo engloba el carbonato de cal é impide que se aglomere. Cuando la acción del carbonato de sosa precede al paso de un destartrador, tal como lo hemos descrito, se obtiene una de-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

puración de las más eficaces. También el aparato Chevalet está provisto de disposiciones apropiadas para valorar el reactivo automáticamente.

Entre las mezclas que se venden con diversos nombres como desincrustantes, se encuentra con frecuencia el cloruro de bario mezclado con diversas sustancias inertes. Actúa formando sulfato de barita, muy insoluble y fácil de separar. Se ha reemplazado tambien esta sal por carbonato de barita ó barita cáustica. El cloruro de zinc se ha ensayado igualmente; transforma los carbonatos en cloruros, pero no actúa sobre los sulfatos.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

CAPÍTULO VII

FABRICACIÓN DEL HIELO

Los usos del agua en el estado sólido son numerosos y adquieren cada día más importancia, ya se conserve el hielo para refrescar las bebidas, ya se emplee para conservar sustancias alimenticias, ó también para disponer superficies destinadas al patinado, cuyo *sport* hacen muy incierto las circunstancias atmosféricas.

Los orígenes del hielo son de dos órdenes: se puede hacer uso del hielo de los lagos, que se conserva en aparatos especiales ó neveras, ó se puede, por el contrario, obtener por medios artificiales, físicos ó químicos.

Las neveras se someten para su establecimiento á determinadas condiciones; el calor que se comunica al hielo á 0° no calienta, se emplea únicamente en fundirle llevandole á 0° si se halla á una temperatura más baja. Es, pues, preferible tomar al principio el hielo por bajo de 0°, tanto más cuanto que el agua de fusión que de él procede penetra en los intersticios y congela la totalidad. Los depósitos en que se conseva deben estar aireados, á fin de que el aire frío reemplace al aire que se calienta al rededor, y proteger, tan completamente como sea posible, el acceso de los rayos solares. Se realizan de la mejor manera estas condiciones fabricando las neveras de dobles paredes, en un sitio expuesto al Norte y cubiertas de paja ó de caña. La doble pared estará guarnecida por una sustancia aisladora, como la viruta de madera ó la turba de largas fibras. Las aberturas de acceso, que pueden principalmente dejar paso á las corrientes de aire caliente, se practican lo más alto posible y dobles; como á pesar de todo una parte del hielo se funde siempre, es ventajoso disponer el almacén de hielo por cima del nivel del suelo, para permitir la fácil salida del agua de fusión.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

La producción artificial del hielo, principalmente en las poblaciones, depende mucho de su producción natural. En esta fabricación no siempre se tiene por objeto la obtención del hielo, se quiere á veces obtener una atmósfera cuya temperatura se aproxime á 0° ó inferior á este grado.

Los aparatos destinados á este uso pueden emplearse á voluntad en la obtención del hielo.

Todos los medios físicos ó químicos destinados á producir la congelación del agua están fundados, ya en las reacciones que tienen lugar entre algunas sales ó su disolución ó ya en los cambios de estado de los gases.

Estos últimos procedimientos se emplean casi exclusivamente en la producción en grande y los primeros utilizan las mezclas frigoríficas.

La mayor parte de las combinaciones desprenden calor, y la medida de esta cantidad de calor es hoy una rama importante de la química. Pero hay también otras que se producen absorbiendo calor, que lo toman de los cuerpos que las rodean. La mayor parte de las sales, cuando se disuelven en el agua, descienden la temperatura de este líquido. Esto procede de que el trabajo mecánico procedente de su cambio de estado necesita una cantidad de calor mayor que la desprendida por su combinación con el agua, combinación nula ó siempre muy inestable. Estas sales roban, pues, calor al agua en proporciones con frecuencia muy marcadas, como lo indica el cuadro siguiente:

		Agua.	Descenso de temperatura.
Nitrato amónico	4	4	20°
— —	1	4	14°
Cloruro amónico y nitro, de cada uno	4	4	22°
Cloruro de potasio	1	4	11°,8
Acetato de sosa	1	4	10°,6
Sal marina	1	4	2°,1

En lugar de disolver simplemente estas sales en el agua pueden mezclarse con nieve ó hielo machacado. Se produce todavía una disolución líquida, pero el frío obtenido es mucho más intenso, porque hemos visto que el hielo para fundirse necesita una gran cantidad de calor. Esta cantidad se toma igualmente del medio ambiente y se suma al frío producido por la disolución

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

de la sal. Hay un límite por bajo del cual no se puede descender, y es al que la disolución salina se congela por sí misma. En este momento, en efecto, se forman á la vez en la solución cristales de sal y cristales de hielo, y volviendo al estado sólido primitivo, uno y otro cuerpo restituyen en parte el calor tomado. Esta observación indica que será necesario dedicarse á obtener una solución saturada de sal, cuya congelación tendrá lugar á una temperatura lo más baja posible. Mezclando á 100 partes de nieve las proporciones siguientes de sales, se obtienen las mínimas indicadas á continuación:

30	partes	de cloruro de potasio.	— 10°,9
25	—	de sal amoníaco	— 15°,4
45	—	de nitrato amónico.	— 16°,8
50	—	de nitrato de sosa.	— 17°,8
33	—	de sal marina.	— 21°,3

El hielo y la sal empleados deben, naturalmente, elegirse muy secos y mezclados entre sí con la mayor intimidad posible, usando exactamente las proporciones indicadas. Todo exceso de uno ú otro es perjudicial, consumiendo inútilmente una parte del calor absorbido.

Cuando se trata de la producción del hielo puede parecer poco lógico hacer uso de este cuerpo para obtenerle. Así es que las mezclas precedentes se emplean sobre todo en los laboratorios. Existen otras fundadas también en reacciones químicas, y principalmente en la mezcla de ácidos minerales diluídos y sulfato sódico.

Así es que partes iguales de agua y ácido sulfúrico, con proporciones diversas de sulfato de sosa, producen temperaturas muy bajas; lo mismo sucede con el ácido clorhídrico:

Agua.	Acido sulfúrico.	Sulfato de sosa.	Enfriamiento.
22 partes.	20 partes.	52 partes.	18°
1 —	1 —	2 —	26°
2 —	2 —	5 —	24°
	Acido clorhídrico diluído.		
	5 partes	8 —	27°,8

La mezcla de ácido sulfúrico y agua, que desarrolla mucho calor, debe hacerse aparte y no usarse sino enteramente fría. El ácido clorhídrico es preferible por su baratura. El sulfato sódico no

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

debe estar desecado porque desprende calor, volviendo á adquirir su agua de cristalización (1).

Los aparatos en que se hace uso de estas mezclas son muy numerosos y están fundados en principios idénticos. Rara vez tienen por objeto dar el hielo en fragmentos, y se hace uso de ellos más bien para refrescar las bebidas ó las cremas. Los más sencillos consisten en un recipiente de paredes delgadas y metálicas, para que sea buen conductor, colocado en el seno de la mezcla frigorífica elegida. El vaso que contiene la mezcla puede ser un simple cubo de madera, de paredes gruesas y malas conductoras. Es necesario, siempre que sea posible, agitar constantemente la mezcla frigorífica. Se consigue haciendo girar el vaso central por medio de una manivela, y se le apoya en una lámina en forma de hélice sobre su contorno.

Cuando se emplea la mezcla de ácido sulfúrico y sulfato sódico puede regenerarse después de su empleo para nuevos usos. Basta para ello saturar con sosa el ácido libre de la mezcla y evaporar hasta que el líquido marque 30° en el areómetro. Se obtiene de este modo, agitando, una abundante cristalización de sulfato sódico que puede emplearse de nuevo.

Estos procedimientos han desaparecido casi enteramente en las grandes poblaciones, donde se tiene con abundancia el hielo muy barato. Las máquinas que sirven para fabricarle están fundadas en el mismo principio. Cuando un gas se dilata ó un líquido se evapora este hecho necesita una gran cantidad de calor, que lo toma del medio ambiente y lo enfría.

Estas últimas máquinas se emplean principalmente, y los líquidos de que se valen son el amoníaco y el anhidrido sulfuroso, cuya evaporación produce un frío considerable. Las primeras, debidas á Harrisson y Siebe, funcionan con el éter, igualmente muy volátil, y daban entonces resultados satisfactorios. El éter estaba contenido en una especie de caldera tubular colocada en

(1) He aquí algunas de las principales mezclas frigoríficas:

Nitrato amónico	1 parte	de + 10 á — 15°
Agua	1 —	
Fosfato sódico	9 —	de + 10 á — 29°
Acido nítrico diluído	1 —	
Nitrato potásico	7 —	de + 10 á — 16°
Agua	16 —	
Cloruro sódico	1 —	de + 10 á — 50°
Hielo machacado	2 —	

(N. del T.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

el seno de un espacio de madera. Se llenaba éste de una solución de sal marina, congelándose solamente á —15°. Se ponía el agua que se iba á congelar en cajas prismáticas de zinc sumergidas en la solución de sal. Una bomba de aire toma el éter evaporado en la caldera y lo empuja á un refrigerante, donde circula la solución salina antes de llegar al espacio. El éter condensado vuelve á la caldera.

Los pedazos de hielo obtenidos por la máquina Siebe se extraen sumergiendo los moldes en el agua caliente. Obtenidos á baja temperatura se sueldan fácilmente por contacto. Este hielo es muy compacto, pero opaco y lácteo á consecuencia de las numerosas burbujas de aire que desprende el agua al solidificarse. No se trabaja por bajo de —9°, aunque el aparato pueda alcanzar temperaturas muy inferiores. Estas máquinas se han abandonado á causa del perpetuo peligro de incendio que presenta el empleo del éter. Las que funcionaban en Liverpool en 1860 producían ya el hielo á 0,10 el kilogramo, que hacía la concurrencia al hielo americano.

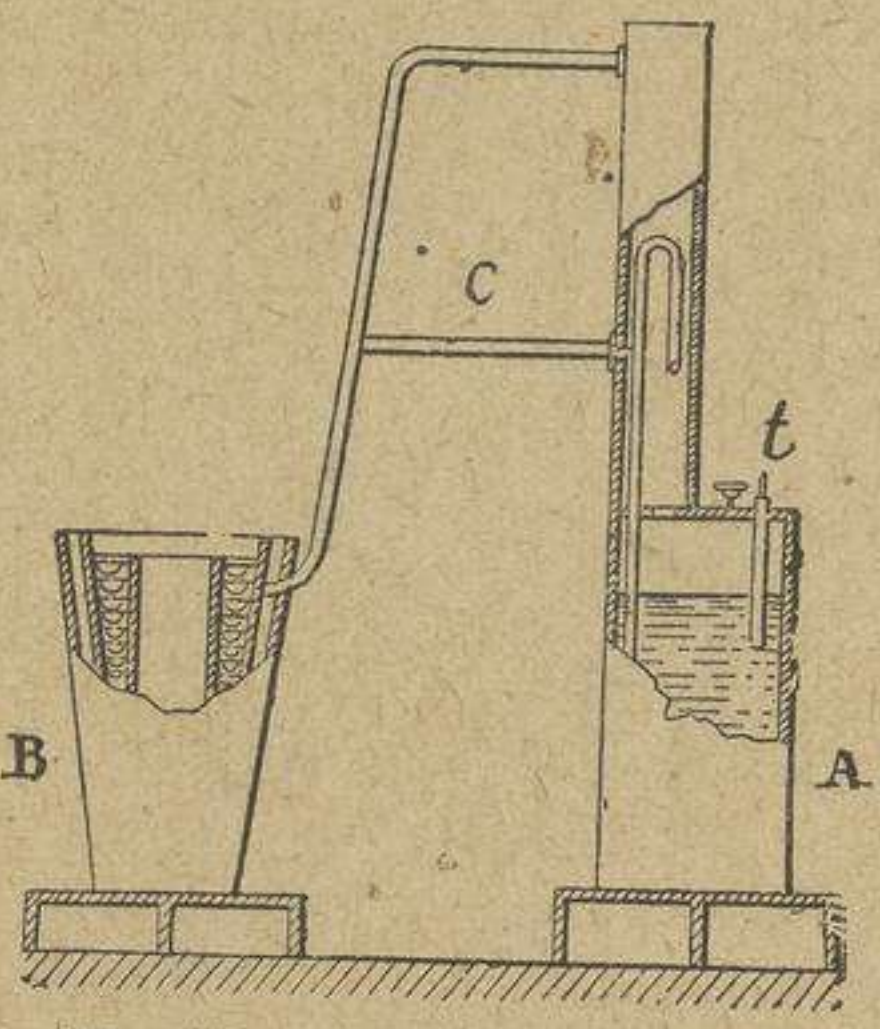


Fig. 23.—Aparato de Carré.

Los aparatos de Carré están fundados en el empleo del amoníaco. El gas amoníaco se liquida, en efecto, por una presión bastante débil y se transforma en un líquido incoloro, muy fluido, que hierve á — 33°,7. Si llega á liquidarse por compresión el gas amoníaco y se deja de ejercer esta presión, el gas liquidado hervirá, consumiendo para este cambio de estado una cantidad de calor considerable. Hemos visto, estudiando las propiedades físicas del agua, que su calor latente de evaporación era considerable y el del amoníaco liquidado muy fuerte.

El gas amoníaco posee otra propiedad preciosa para este empleo, y es que se disuelve en una cantidad considerable y de un modo instantáneo en el agua. La disolución saturada contiene de éter un 35 por 100 y hierve á — 4°, y cuando se calienta solamente á los 60°, á la presión ordinaria, esta solución abandona la totalidad de su gas.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

El aparato más pequeño construído por Carré (1) se compone de una retorta resistente de hierro forjado, cerrada por completo y llena de amoníaco en solución acuosa concentrada. Un termómetro atraviesa el fondo superior contenido en un estuche de hierro, y un tubo en U invertido parte también de este fondo. Desemboca en un segundo vaso igualmente cerrado de forma cónica, que tiene en su centro una parte cilíndrica hueca donde se coloca el agua que se va á congelar. Si se calienta á 130° la retorta que contiene el amoníaco líquido, el gas se desprende en-

(1) El aparato de Carré que representamos en esta figura expresa con más claridad la disposición que en el original francés.

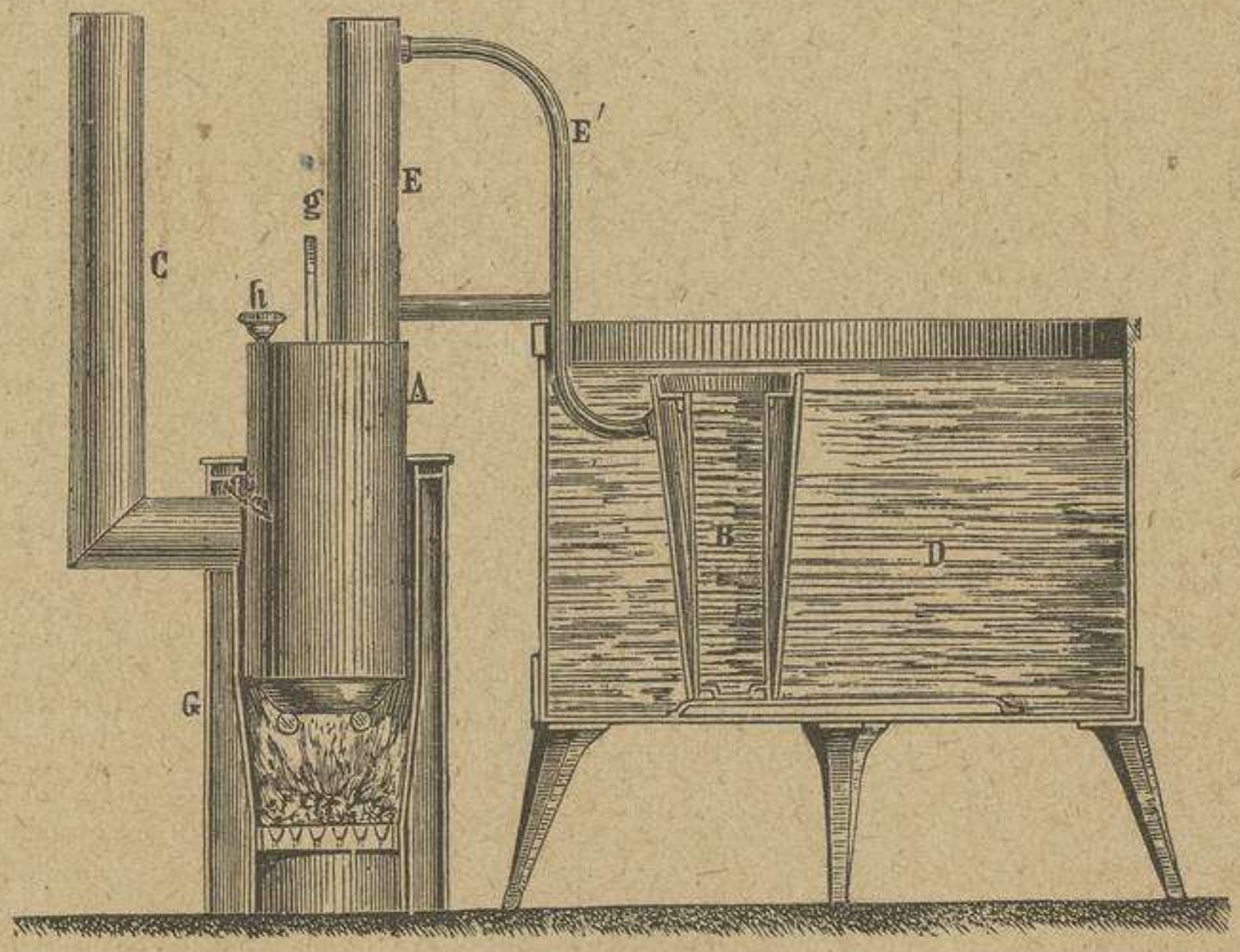


Fig. 24.—Aparato de Carré.

Con esos aparatos se pueden obtener 3 á 4 kilogramos de hielo con el gasto de 1 kilogramo de carbón. Son muy útiles en la industria. Funciona calentando el aparato para expulsar el aire; se calienta la caldera en el horno G que tiene la chimenea C; se desprende el amoníaco, cuyo gas se condensa en el refrigerante por su misma presión. Se separa la caldera del hogar y se sumerge en el baño D, que contiene agua fría.

Puede obtenerse hielo en muy pequeña escala, poniendo agua en una vasija y rodeándola de una mezcla frigorífica compuesta de ocho partes de sulfato de sosa cristalizado y en polvo y 5 de ácido clorhídrico de 22°.

(N. del T.)

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

teramente y se acumula en presión progresiva en el recipiente cónico, donde concluye por liquidarse. Es de notar que este resultado se traduce por cierta cantidad de carbón quemado; el calor se transforma, pues, en un trabajo mecánico por el cambio de estado de un gas que ha resultado líquido.

Invertimos ahora la disposición del aparato, suprimiendo el horno de calefacción y colocando en él la retorta con el refrigerante lleno de agua fría que antes contenía el recipiente cónico. Se adivina ya lo que va á suceder: el gas liquidado adquirirá inmediatamente su estado primitivo y se disolverá en el agua de la retorta enfriada, si bien la solución de amoníaco se reconstituirá. Pero el nuevo cambio de estado del gas liquidado, como todo trabajo mecánico, se produce á expensas de un origen de energía calorífica; en otros términos, toma el calor de los cuerpos susceptibles de suministrarle. En este caso particular, es el agua colocada en la cavidad cilíndrica la que será origen de calor, y por eso pasará al estado sólido. Se ve, pues, que en definitiva la solución de amoníaco se somete alternativamente á un trabajo mecánico inverso y equivalente, y que se regenera de un modo indefinido. La cantidad de energía calorífica que le cede el agua que se ha de enfriar debe ser, pues, en teoría, equivalente á la que le había cedido el carbón quemado, y haciendo abstracción del cuerpo intermediario, puede decirse que el calor de combustión se traduce por el trabajo mecánico del cambio de estado del agua que se experimenta.

El pequeño aparato que acabamos de describir no ha recibido perfeccionamientos notables; pero no prestándose su función intermitente á un empleo industrial, se han creado aparatos de marcha continua, cuyo sistema es fácil de comprender.

Es necesario, en efecto, que las funciones que se completan sucesivamente en los dos órganos del aparato intermitente puedan realizarse de un modo simultáneo para que el aparato sea continuo, con cuyo objeto hay que duplicar el número de estos órganos.

Se empleará, pues, una caldera que destile el gas amoníaco, un licuefactor que condense este gas, un congelador donde este gas liquidado vuelva á adquirir el estado gaseoso y, por último, un aparato de absorción que lo recogerá. Todos estos aparatos están unidos por medio de tubos, y el absorbedor para cerrar el círculo de todos estará unido á la caldera con una bomba intercalada en el tubo de comunicación. La licuefacción del amoníaco se efec-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

túa á una presión de 10 atmósferas, que es preciso mantener constantemente; por otra parte, su volatilización y su absorción se realizan á una presión apenas superior á la de la atmósfera. Esta circunstancia produce la necesidad de una llave distribuidora, que no deja pasar al congelador más que la cantidad necesaria del gas liquidado á consecuencia de la diferencia de presión; esta llave debe ser muy sensible. El empleo de la bomba se explica del mismo modo por la necesidad de volver á llevar la solución del absorbedor á la caldera, á pesar de la diferencia de presión.

La condensación de los gases en el absorbedor no se hace con el agua, sino con una solución amoniacal pobre, que á consecuencia de la distinta densidad tiende á formarse en el fondo de la caldera y se envía al absorbedor en cantidad regulada igualmente por una llave, de tal modo que la solución formada en definitiva en el absorbedor sea idéntica á la calentada en la caldera al principio de la operación. La regulación de una y otra llave constituye, pues, una de las partes más importantes de toda máquina de esta índole. Los aparatos construídos, fundados en estos principios, por Carré, y después perfeccionados por Carré, Mignon y Rouart, se han modificado de diversos modos por los Sres. Imbert hermanos, Pontifex y Wood, etc. Estas modificaciones no afectan más que á cuestiones de detalle, y cada aparato se compone sensiblemente de las mismas partes. En la máquina de Pontifex y Wood, por ejemplo, la caldera se calienta por la circulación del vapor y está sobrepuesta por una larga columna rectificadora ó *analizador*, cuyo empleo veremos. El gas amoníaco pasa de allí á un condensador, cuyos serpentines están rodeados por agua fría que circula. Se liquida ésta y cae á un depósito, de donde vuelve por medio de una llave á un refrigerante. Este consiste en un doble serpentín, por el que corre un líquido incongelable, que se enfría por bajo de 0° mediante la retención del amoníaco y sirve de intermediario, de vehículo, al frío producido por esta retención. En el absorbedor que sigue el amoníaco gaseoso es humedecido por el agua, y ésta se refresca constantemente por cuatro serpentines concéntricos que atraviesan el agua del condensador. La solución fría y concentrada de amoníaco es empujada por una bomba, no á la caldera, sino al analizador, atravesando primero un sobrecalentador. Por éste corre en sentido inverso la solución amoniacal débil tomada en la parte inferior de la caldera, volviendo al absorbedor. Por el analizador,

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

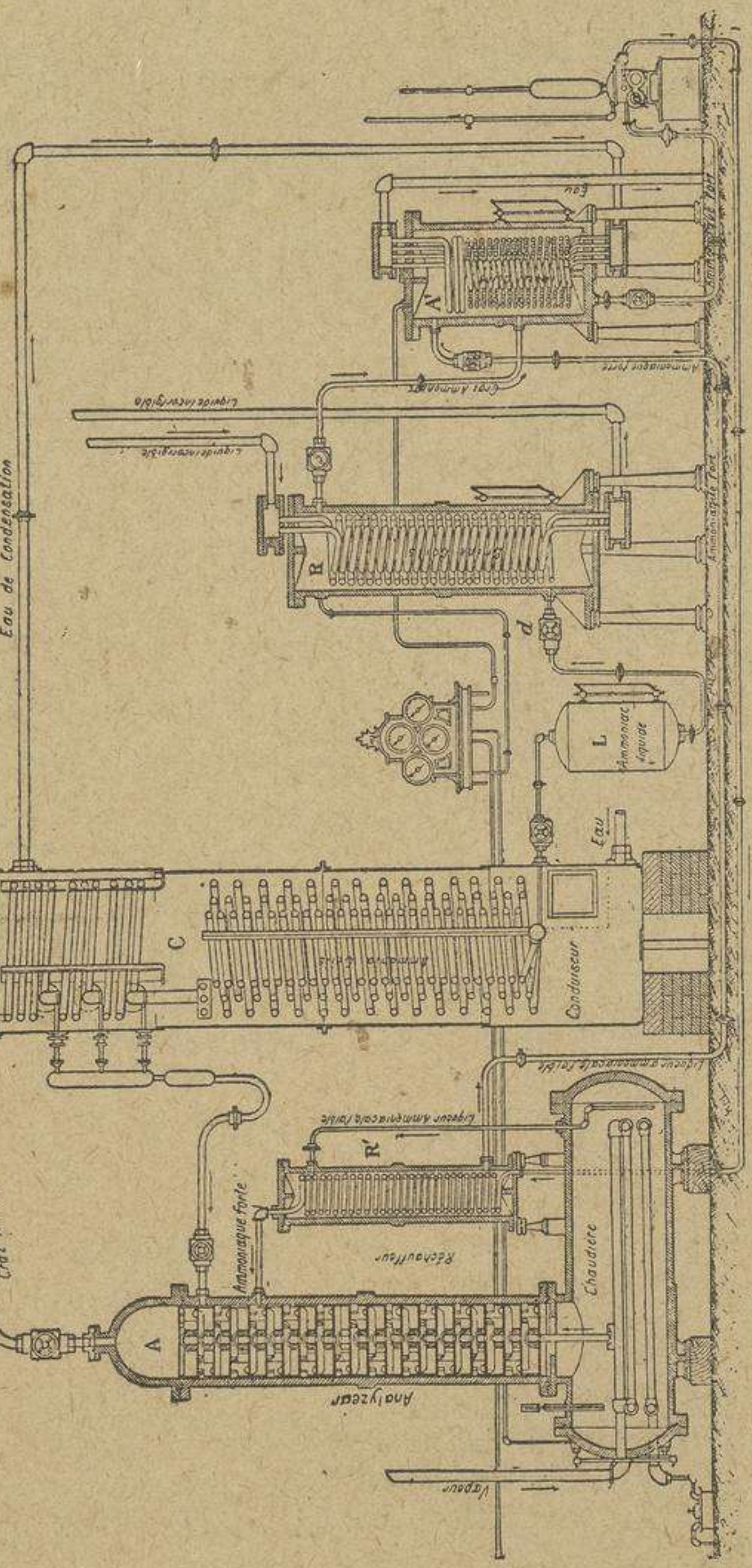


Fig. 25.—Aparato de Pontifex y Wood.

Explicación: *Vapeur*, vapor.—*Analyseur*, analizador.—*Réchauffeur*, recalentador.—*Liqueur ammoniacale faible*, licor amoniacal débil.—*Chaudière*, caldera.—*Ammoniaque forte*, amoniaco fuerte.—*Conduiseur*, conductor.—*Eau*, agua.—*Ammoniaque liquide*, amoniaco líquido.—*Eau de condensation*, agua de condensación.—*Gros ammoniac*, gran amoniaco.—*Liquide incongelable*, líquido incongelable.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

análogo á los aparatos de destilación, corren de alto á bajo los líquidos amoniacales diversos que vuelven á la caldera, y de abajo arriba los vapores procedentes de ésta. El contacto prolongado de los líquidos y de los gases se asegura por medio de una serie de platos en trampa y produce el enriquecimiento de los vapores amoniacales. Estos se despojan del agua que arrastran por su paso á través de un rectificador que está superpuesto al condensador.

Se da el nombre de máquinas de *afinidad* á las que funcionan utilizando la solubilidad en el agua del gas cuya retención produce el frío que se busca. El gas amoníaco es casi el único que se utiliza en estos aparatos. Es necesario, sin embargo, citar la metilamina, amoníaco compuesto empleado en las máquinas de hielo del sistema Tellier.

Es fácil observar que, en teoría, la cantidad de calor tomada del refrigerante debe ser igual á la diferencia entre la que se suministra á la caldera y la que se cede al condensador; pero en realidad hay numerosas causas de pérdida, ya por el agua que arrastra, ya por la calefacción del absorbedor, ya por la radiación del calor é imperfección de los serpentines. El hecho es que, á pesar de la falta de mecanismo que simplifica la marcha, están menos extendidas que las máquinas de compresión. Estas se dividen á su vez en dos grupos, según que empleen el aire ó un gas liquidado como agente frigorífico.

Las máquinas de aire están fundadas en el principio siguiente: Si después de haber comprimido una masa de aire se deja enfriar á la temperatura ambiente, cuando ya se ha detenido á completar un trabajo, este aire se enfriará por bajo de la temperatura ambiente en una cantidad proporcional al trabajo de retención. Estas máquinas se llaman de ciclo cerrado cuando es siempre la misma cantidad de aire la que sirve, ya comprimido ó ya retenido, y son de ciclo abierto en el caso contrario; entonces el aire expulsado á baja temperatura puede utilizarse para enfriar el aire, que llega al compresor de la manera que mejor pueda utilizarse la temperatura.

La necesidad de enfriar el aire que la compresión calienta exige el empleo de diversas posiciones, porque estos enfriamientos deben completarse con secadores y cajas de nieve ó *snowbox*, destinados á recoger el vapor de agua congelada de esta suerte. Cada una de estas máquinas se compone siempre de un compresor, de un enfriador, de un descolgador y un refrigerante. El

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

compresor es un cuerpo de bomba enfriado por la circulación del agua, provisto de válvulas de aspiración é impulsión, donde se mueve un pistón que cierra con fuerza al rededor del vástago. Por lo demás, hay gran número de estas máquinas, Giffard, Bell Coleman, Hall, Lightfoot, Haslam, etc. Rara vez se emplean en la fabricación de hielo, y sirven con frecuencia, sobre todo en los buques y en los mataderos, para la conservación de las carnes en una atmósfera fría. Su rendimiento aparece muy inferior, por lo demás, al de las máquinas que nos falta que estudiar, y que son hoy mucho más importantes, las que usan como origen de frío los gases liquidados por compresión. No difieren en principio de las máquinas de aire: la compresión de los gases se reemplaza por su licuefacción; pueden igualmente compararse muy bien á las máquinas de afinidad, que hemos descrito anteriormente; el trabajo mecánico de compresión, después la aspiración, reemplazan respectivamente el calor empleado en la destilación y la afinidad del agua para el gas de las máquinas de afinidad.

Pero las máquinas de gas liquidado por compresión tienen numerosas ventajas propias: el trabajo de licuefacción de 1 litro de gas es mucho menos considerable que el de la compresión en 1 litro de aire, así es que 1 metro cúbico de anhidrido sulfuroso líquido producirá en una máquina el mismo frío que 4.000 metros cúbicos de aire. A esta actividad mucho mayor unen estas máquinas un rendimiento más grande; pierden parte de estas ventajas en los países cálidos, y como están sujetas al empleo de un gas liquidado, pueden todavía las máquinas de aire luchar con ventaja en estas condiciones especiales, como en los buques que navegan en las regiones del trópico. Por el contrario, han reemplazado en todas partes las máquinas de aire en los países templados, y se emplean casi exclusivamente en la fabricación del hielo en grande.

Se han utilizado en estas máquinas gran número de gases. Hemos citado al principio la máquina de éter de Siebe, y aunque se ha renunciado al empleo de este líquido, demasiado peligroso, Tellier lo ha utilizado en máquinas bien construídas, en las que se ha empleado mucho el éter metílico, igualmente inflamable. Vincent ha utilizado el cloruro de metilo, que preparó industrialmente. El anhidrido carbónico (ácido carbónico) es el gas más enérgico, pero su empleo necesita altas presiones de licuefacción, que llegan á 90 atmósferas. De aquí resultan dificulta-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

des de construcción que no han sido todavía resueltas por completo. El anhidrido sulfuroso (ácido sulfuroso) se ha preconizado por Pictet. Este gas es de un uso muy práctico, y las máquinas Pictet han hecho gran fortuna y merecido que conserven en gran parte, al menos en los países cálidos, á pesar de la perfección creciente de las máquinas de gas amoníaco, la preferencia á su empleo. Pictet ha propuesto también el uso de líquidos *binarios*, formados por la combinación de dos líquidos. El éter y el anhidrido sulfuroso, ó el gas amoníaco, se habían ya indicado por Tessié du Mothay y Rossi. Pictet les sustituye por una mezcla de ácido carbónico y sulfuroso (anhidridos), fundada en consideraciones teóricas que no podríamos reproducir aquí, y que por lo demás se han reconocido en gran parte como inexactas. No se ha divulgado el empleo del *líquido Pictet*.

Toda máquina que funciona con gases liquidados comprende, como todas las de aire, cuatro partes esenciales: el compresor, el licuefactor, el descolgador y el refrigerante. El compresor puede ser de doble efecto, pero es más difícil conservar las guarniciones del pistón y el rozamiento es más considerable. Frecuentemente es de efecto sencillo en las máquinas actuales. Describiremos rápidamente algunos de los aparatos más usados. Las máquinas de ácido sulfuroso de Pictet se componen de una bomba de compresión horizontal de doble efecto, provista en cada extremidad de dos válvulas que sirven para la impulsión y aspiración. Estas válvulas, una de las principales partes del aparato, son de gran extensión y están sometidas á la acción antagonista de resortes débiles que aseguran su sensibilidad. Una corriente de agua circula por la cubierta del cuerpo de bomba y por el pistón, que está hueco. El gas comprimido va á condensarse á un recipiente vertical tubular, y pasa de allí por una llave á un refrigerante que es una de las partes mejor entendidas de la máquina. Se compone de dos gruesos tubos horizontales paralelos, unidos entre sí por medio de una serie de tubos en V verticales y muy próximos. Uno de los tubos gruesos está en relación con el licuefactor, otro con las válvulas de aspiración de la bomba, y para aumentar todavía la potencia de la radiación del sistema, los tubos en V están unidos lateralmente por tiras de cobre que aumentan de un modo notable la superficie, consolidando todo. Este refrigerante está contenido en una envoltura llena de un líquido incongelable, solución saturada de sal marina ó de cloruro de calcio, por ejemplo, y donde se colocan los moldes rec-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

tangulares que contienen el agua que se va á congelar. La producción máxima corresponde á 42 kilos de hielo por caballo de vapor de fuerza consumida al compresor. Una máquina que produce una tonelada de hielo por hora exige una circulación de 450 litros de agua para enfriar el cilindro y el pistón.

Debemos mencionar también las máquinas de cloruro de metilo de Vincent, construídas con los mismos principios, pero puestas en acción por dos compresores verticales de efecto sencillo. Existe también un pequeño aparato movido á mano, que produce 2 á 3 kilos de hielo por hora, muy sencillo y bien entendido. El compresor, igualmente vertical, aspira por un lado é impele por otro. Está colocado en medio de las espiras del serpentín condensador, y á un lado se halla el depósito de hielo, donde el cloruro de metilo circula por los tubos en V. El espacio que sirve para la producción del frío se dedica generalmente por la industria á bombonas de palastro de acero, cuyo manejo es fácil y seguro.

La cuestión del agente frigorífico no está, en efecto, desprovista de importancia en lo referente á las máquinas de hielo. El ácido sulfuroso que sirve para las máquinas de Pictet es de una fabricación bastante difícil y muy costosa si no se hace en grande. Existe un monopolio de los fabricantes de este cuerpo para la alimentación de las máquinas. El ácido sulfuroso líquido goza, al decir de sus fabricantes, de la propiedad de lubrificar los órganos de las máquinas á la manera de un cuerpo graso. Esta aserción parece exagerada, y dicho ácido presenta el inconveniente de producir ácido sulfúrico en contacto de la menor humedad.

El amoníaco líquido es más fácil de preparar y puede obtenerse destilando la solución del comercio; este cuerpo tiene un poder frigorífico más considerable que el ácido sulfuroso, y se prefiere en general en los climas templados. En las comarcas tropicales, el ácido sulfuroso ofrece, por el contrario, la ventaja de dar tensiones de licuefacción menos elevadas. Se expende en recipientes cilíndricos de acero muy resistentes y de capacidad variable.

Muchos tipos de máquinas de amoníaco se disputan actualmente la preponderancia. Las máquinas Linde son de las más antiguas y extendidas, sobre todo en Alemania, su país originario. El compresor de estos aparatos es horizontal y de doble efecto; el condensador y el depósito de hielo no difieren de los sistemas anteriores sino en algunos detalles. Se han construído má-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

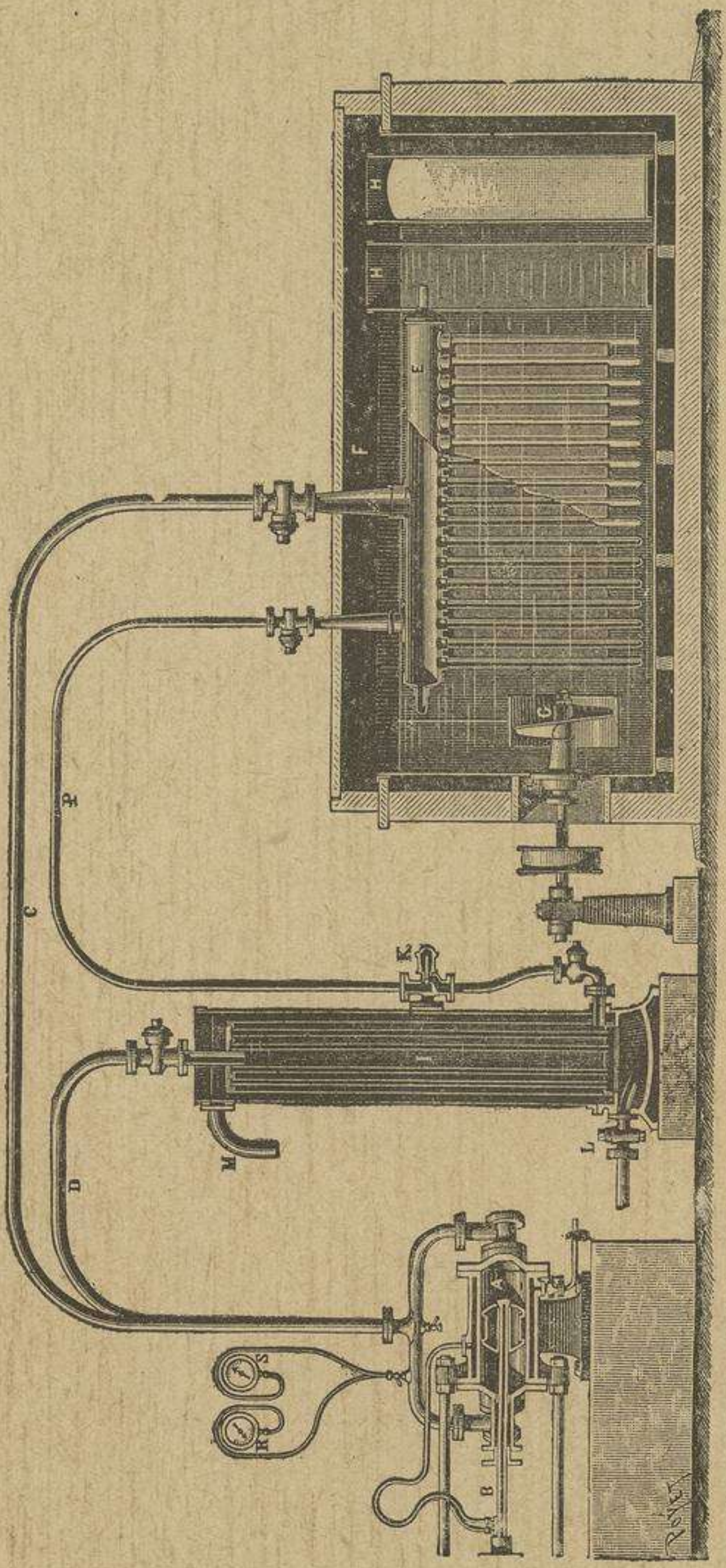


Fig. 26.—Máquina de Pictet.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

quinas de este tipo, especialmente para los buques, con objeto de reemplazar las máquinas de aire, mucho menos económicas. Producen por término medio 26 kilogramos de hielo por kilogramo de carbón quemado.

Las máquinas Kilbourn son verticales, con dos compresores apareados. Los espacios atacables por cima de los pistones se resguardan con el auxilio de una capa de aceite.

Las máquinas Lavergne, muy usadas en los Estados Unidos, producen allí diariamente 8.000 toneladas de hielo. Presentan muchos detalles ingeniosos. Los dos compresores acoplados son verticales y de simple efecto, sobrepuestos de una sola válvula que ocupa todo el fondo del cilindro. Está bañada por completo de aceite, que suaviza mucho los choques de esta válvula. El amoníaco vuelve del refrigerante á la parte inferior del compresor, atravesando un baño de aceite; sale á través de una válvula del pistón, al mismo tiempo que una gran parte de este aceite. El pistón se halla en la parte superior y una porción contribuye á suprimir el espacio atacable entre el referido pistón y la válvula, y el resto pasa entre las paredes del compresor y el pistón. La profusión de aceite que es característica de esta máquina necesita una bomba especial de distribución muy ingeniosa. El condensador está al aire libre y formado de series de tubos enfriados por el agua, que ha pasado ya por los serpentines de amoníaco. De este modo ese condensador es muy accesible y exige menos agua para el enfriamiento. El depósito de hielo contiene un serpentín formado de tubos separados, provisto de aletas circulares transversales que aumentan su superficie. Una de estas máquinas, puesta en acción por un motor de seis caballos, ha producido hasta 3 toneladas de hielo diarias.

Las máquinas Wood y Richmond son muy análogas; las del sistema Pupplet difieren de ellas en que tienen un compresor de doble efecto y horizontal. Unas y otras enfrían; el cuerpo del compresor está enfriado por una inyección de amoníaco líquidado.

Las máquinas Fixary son de las más extendidas en Francia, y afectan dos tipos de construcción: son verticales ú horizontales. Las primeras son generalmente de dos cilindros compresores, de simple efecto, que comunican extensamente por la base, del mismo modo que con una cámara intermediaria, donde se acumulan las fugas que puedan producirse. El espacio libre así dispuesto en la parte inferior está enteramente lleno de aceite; al rededor del

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

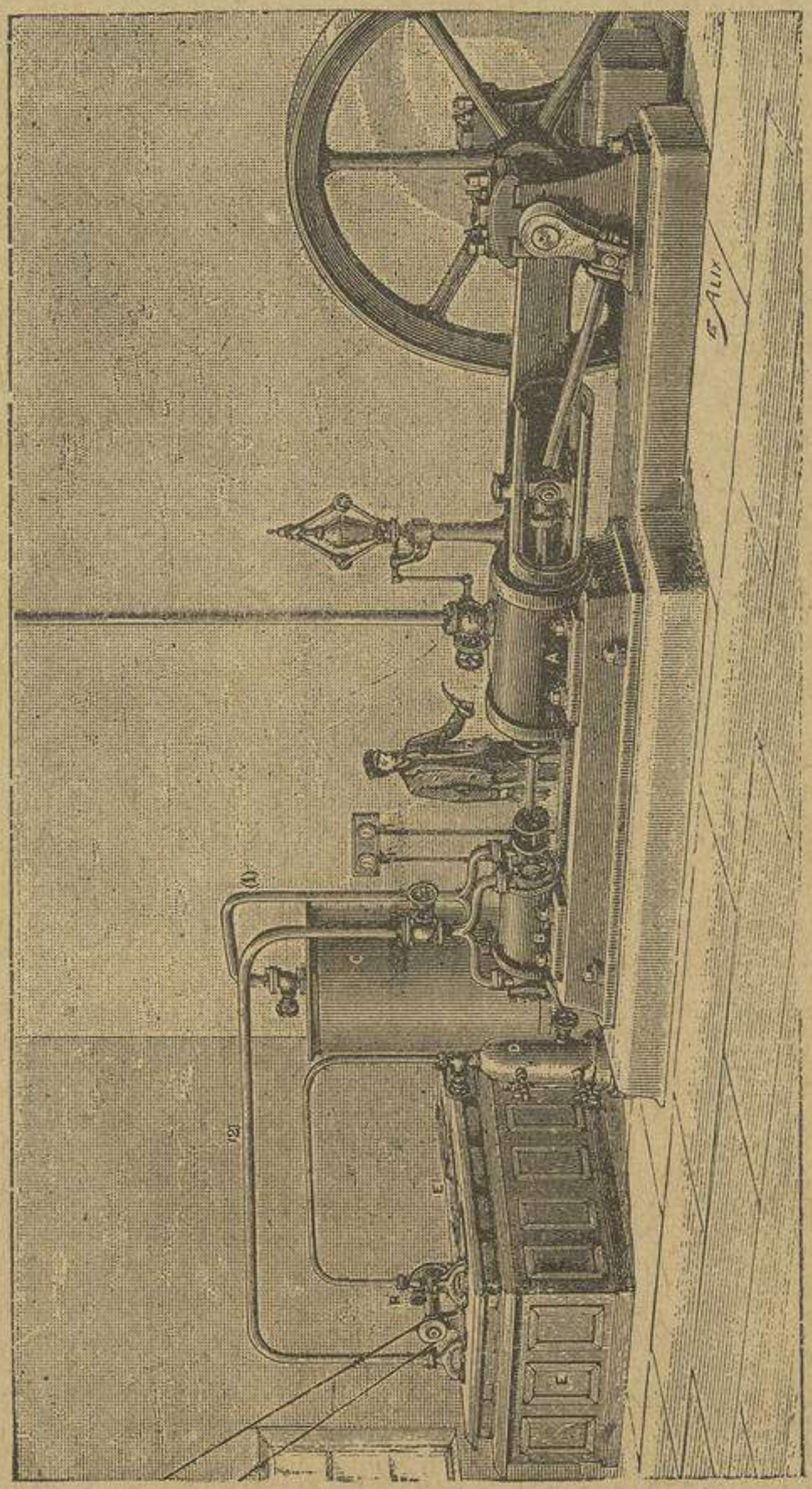


Fig. 127.—Máquina Fixary.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

vástago del pistón está en parte congelado, y se hace pastoso por una circulación de amoníaco liquidado. Esta ingeniosa disposición se opone muy eficazmente á toda fuga por este lado. El amoníaco liquidado en un recipiente metálico pasa, merced á una llave, á los serpentines del refrigerante, donde se evapora, produciendo el frío que se busca. Es aspirado por la bomba é impelido á un condensador que recorre una corriente de agua fría, donde se liquida. Es, pues, como en todas las máquinas análogas, la misma cantidad de amoníaco anhidrido la que sirve indefinidamente, excepto las pérdidas que proceden de las fugas eventuales de gas. Existen pequeñas máquinas de este modelo, que producen unos 10 kilogramos de hielo por hora y que están instaladas en un zócalo vertical, de manera que ocupan muy poco espacio. Las máquinas horizontales están instaladas en un zócalo común con la máquina motora y colocadas en su prolongación. El compresor es de doble efecto. Producen hasta 1.200 kilogramos de hielo por hora y consumen 35 caballos de vapor.

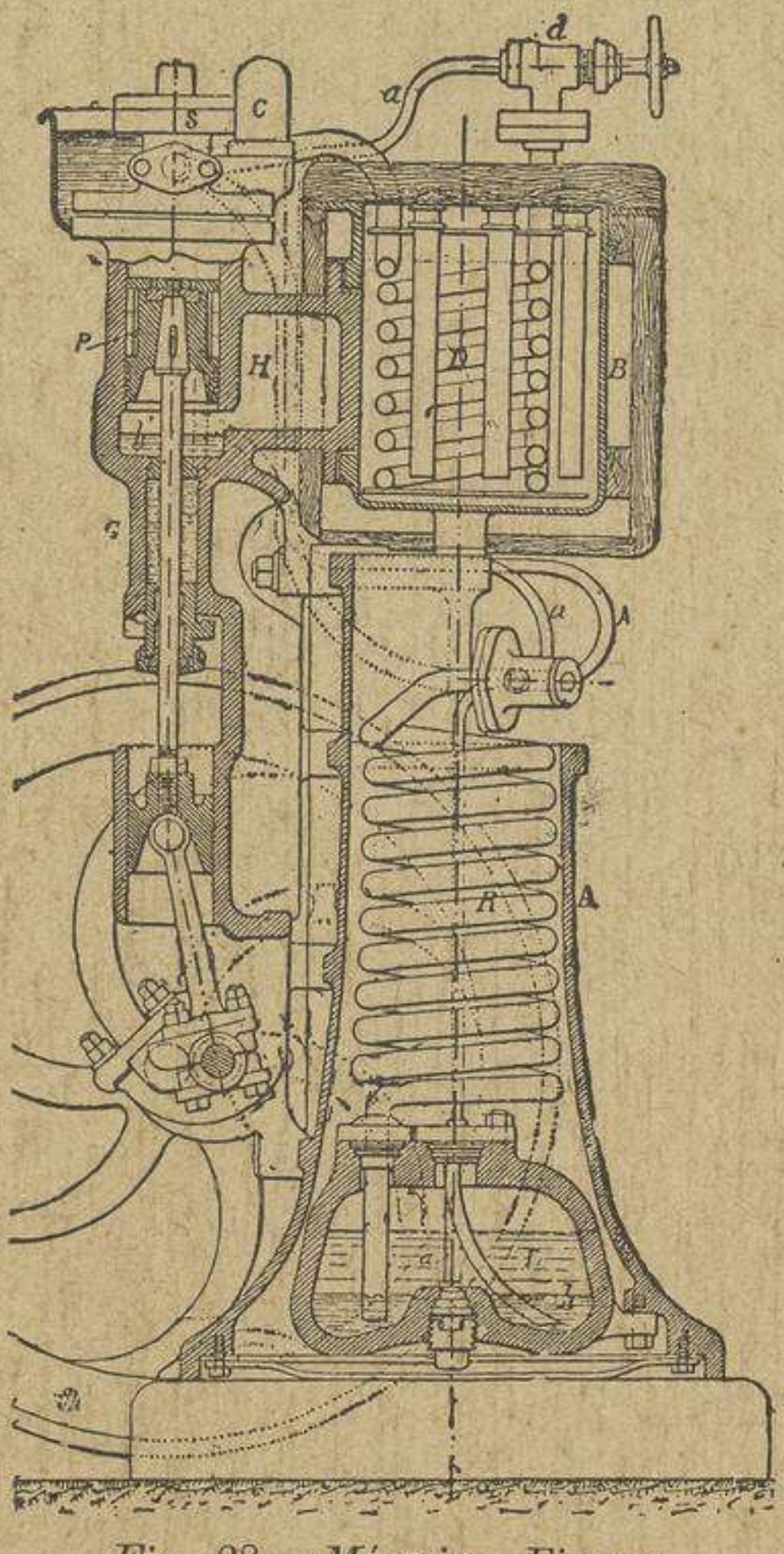


Fig. 28.—Máquina Fixary.

Existen algunas máquinas de ácido carbónico, como las de Raydt y Windhausen. El pistón del compresor del primero es hueco y circula por él el agua; en el segundo aspira é impele por el intermedio de una masa de agua glicerinada incongelable. En otro tipo, la compresión se hace en dos tiempos: primero por la acción del pistón, después por la acción de la masa de agua glicerinada que impele durante su vuelta. En un tercer tipo hay unido

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

al compresor un cilindro, y el ácido carbónico líquido admitido durante una fracción de la carrera ejerce un trabajo mecánico por su tensión, á la manera que el vapor del motor al que se adiciona su trabajo. Al mismo tiempo esta tensión enfría el ácido, que vuelve al depósito del hielo. Los aparatos que utilizan el ácido carbónico son siempre delicados, á causa de las elevadas presiones que necesitan (25 á 80 atmósferas). Compensan este inconveniente con el poder frigorífico, muy considerable, del ácido licuado y probablemente entrarán en la práctica industrial corriente.

La producción industrial del frío tiene tres principales objetos. El primero y más importante la fabricación del hielo, que nos ocupará en este sitio únicamente; las otras dos, producción de aire frío y conservación de sustancias alimenticias, tendrán más oportuno lugar en los volúmenes siguientes, dedicados á estas cuestiones.

El hielo artificial dedicado al consumo es transparente ú opaco: el primero se prefiere en la alimentación á causa de su aspecto, aunque no contiene aire; el segundo sirve sobre todo para los usos industriales, aunque el exceso de aire que contiene le da una ligereza mayor y se funde más pronto, enfriando menos en igual volumen. Se puede obtener la transparencia del hielo por muchos procedimientos: la congelación lenta, que tiende á imitar el procedimiento natural y da una costra de hielo muy limpia por un procedimiento muy sencillo. Pero la instalación necesita depósitos muy grandes y costosos. De ordinario se prefiere recurrir á los *moldes*, vasos verticales aplastados, donde se coloca el agua que se va á congelar y que se sumergen en el baño incongelable, donde se produce el desprendimiento del gas liquidado que circula por los serpentines. El vacío y la agitación, solos ó combinados, son también en este caso medios de producir hielo transparente, pero su complicación impide que se empleen, y por lo demás tampoco dan hielo de muy buen aspecto. Sólo queda como solución práctica la destilación ó la ebullición en el agua, ó la congelación del vapor que se desprende de los motores.

La destilación y la ebullición resultan económicas en grande, cuando se producen con el auxilio de una caldera auxiliar ó utilizando el vapor que de ella se desprende. Se puede, por ejemplo, como ha propuesto Linde, calentar la caldera del motor por condensación del vapor de una caldera accesoria, que indique una sobrepresión. Conduciendo este agua condensada bajo pre-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

sión á un recipiente abierto, hierve y abandona su aire. Entonces se conduce á los moldes de hielo, después de haber cedido su calor al agua que la alimentaba. Este agua está perfectamente desengrasada. Esta ventaja no existe cuando se utiliza el vapor de escape del motor. Es necesario entonces emplear disposiciones especiales, de las que pueden dar idea los procedimientos Fixary-Stoppani, que se usan en la Sociedad de fabricación de hielos, donde se producen de este modo más de 80 toneladas diarias de hielo perfectamente transparente.

Un baño incongelable está formado por una disolución de cloruro de calcio que marca 22° en el areómetro; se sumergen en él los serpentines del refrigerante y en su intermedio se colocan los moldes rectangulares. Dos hélices agitan constantemente este baño. El enfriamiento de los condensadores donde se opera la licuefacción del amoníaco, el del agua condensada que procede del vapor de salida y la condensación de este vapor se opera con la misma agua, gracias á una circulación racional de este líquido, que es al instante rechazada sin arrastrar demasiada cantidad de calor.

El vapor de salida que se utiliza para la obtención del hielo atraviesa primero un depurador que le priva de los restos del aceite que ha arrastrado. Encuentra en seguida un filete de agua fría que procede de un filtro depurador de agua de fuente y se condensa, produciendo súbitamente la ebullición del agua. Un condensador de superficie y un enfriador terminan la condensación, al mismo tiempo que bombas de aire determinan por cima del líquido un vacío parcial que completa la expulsión del aire contenido en el agua. Después de haber atravesado bajo presión un filtro va á acumularse este agua á depósitos superiores.

El agua de fuente, que se añade como complemento al vapor de salida, se depura con el auxilio de un aparato de Howatson, que hemos estudiado en el capítulo anterior. Despojada de sus sales calizas por una mezcla de sosa cáustica y cal, después del paso por una serie de planos inclinados y un filtro de esponjas, sirve el agua dulce, como hemos visto, para condensar el vapor de salida.

El agua depurada y filtrada procedente de estos dos orígenes circula antes de llegar á los moldes al rededor de los serpentines, que vuelven á los compresores el amoníaco condensado y poseen todavía una temperatura muy baja. Este agua experimenta de hecho un primero y notable enfriamiento, que tiene el doble ob-

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

jeto de utilizar mejor el frío y favorecer la transparencia del hielo, haciendo la congelación más gradual.

Los depósitos de hielo contienen diez series transversales de moldes agrupados de dos en dos en un marco común, que

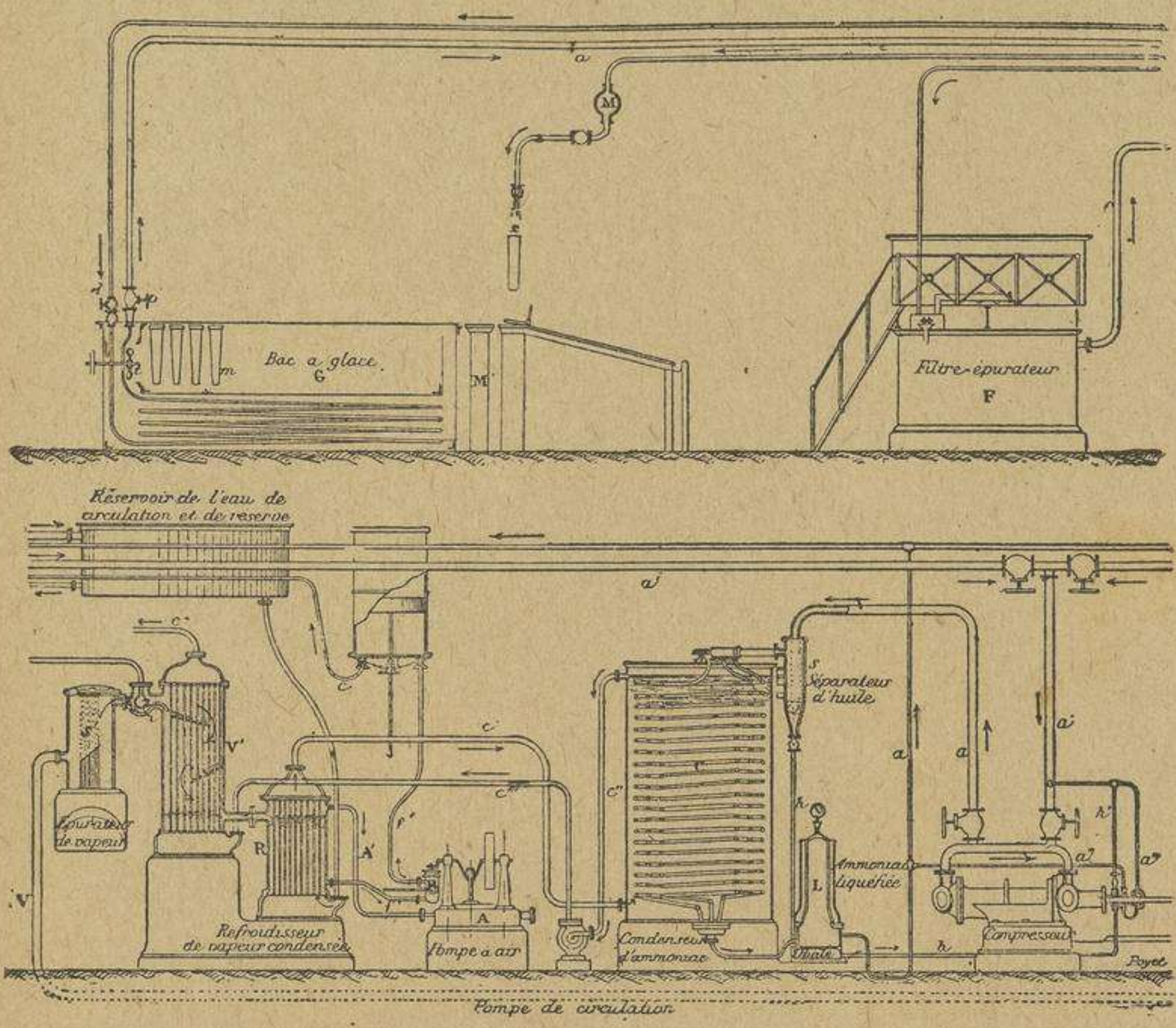


Fig. 29.—Fabricación del hielo.

Explicación: *Bac à glace*, arca de hielo.—*Filtre épurateur*, filtro depurador.—*Réservoir de l'eau de circulation et de réserve*, reservorio del agua de circulación y de reserva.—*Refroidisseur de vapeur condensée*, refrigerante de vapor condensado.—*Pompe à air*, bomba de aire.—*Epurateur de vapeur*, depurador de vapor.—*Condenseur d'ammoniac*, condensador de amoníaco.—*Séparateur d'huile*, separador de aceite.—*Ammoniac liquefiée*, amoníaco licuado.—*Compresseur*, compresor.—*Pompe de circulation*, bomba de circulación.—*Poye*, palanca.—*Ouate*, huata.

puede levantar de una sola vez un carrito que rueda sobre los railes por cima de los depósitos y que un solo obrero maneja, gracias á disposiciones mecánicas que no podríamos describir. Para desprender el hielo se sumergen los moldes en un depósito de

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

agua caliente y se desprenden por inversión. Se llenan entonces de nuevo los vasos al abrigo del aire por medio de tubos de caucho adaptados á un tubo común, y se coloca el marco detrás de la cuba haciendo avanzar los demás que ruedan sobre carriles.

En el sistema Lavergne el vapor de salida atraviesa el agua, donde se despoja en gran parte de su grasa. Atraviesa entonces un filtro de carbón animal y se condensa en un refrigerante de gran superficie. Se enfría atravesando un vaso de nivel constante; después un segundo condensador al aire libre, sobre cuyos tubos circula el agua fría, y despojada de aire se almacena en un depósito de madera cerrado por un flotador. Se llenan los moldes sin introducción de aire con este agua depurada.

Cuando no se quiere recurrir al desengrasado del vapor, se puede utilizar por la vía indirecta, calentándole con agua filtrada. Este agua circula al rededor de los serpentines de vapor, mientras que una bomba de aire le quita sus gases disueltos.

También se ha propuesto como medio de obtener el hielo transparente la formación de masas por capas congeladas sucesivamente. Para esto puede hacerse que flote sobre el agua que se va á congelar un recipiente que contiene el baño incongelable. De este modo se transmite el frío gradualmente desde la superficie al fondo del líquido que se va á congelar.

El hielo así obtenido oscila entre 6 y 10 francos la tonelada, según la importancia de las instalaciones. Además de su precio, que le permite rivalizar con el hielo natural, presenta sobre este último, cuando se fabrica con las precauciones anteriores, la ventaja de una seguridad mayor. Las bacterias del agua, de las que hemos tratado con bastante extensión, no mueren por la congelación, sino son simplemente *adormecidas* y suspendida por el momento su procreación. El hielo procedente de un agua impura puede, pues, ofrecer los mismos peligros que el agua misma, y es una consideración cuya importancia explica el desarrollo de las industrias donde el agua transformada en hielo experimenta previamente una serie de depuraciones físicas y químicas que la esterilizan en totalidad.

Todavía nos falta que examinar una interesante industria, relativa á las aplicaciones del agua, y es la fabricación de las aguas gaseosas. Se sabe que esta fabricación se funda en la propiedad del gas ácido carbónico de disolverse en el agua en bastante proporción, comunicándole un ligero sabor acídulo agradable. Obedeciendo á la ley que rige la solubilidad de todos los gases, el

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ácido carbónico se disuelve en cantidades tanto mayores cuanto más baja es la temperatura y la presión ejercida sobre él es más considerable. El problema consiste, pues, en producir de un modo industrial el ácido carbónico muy puro y disolverle bajo cierta presión en el agua. Para la comodidad del consumo este agua se halla contenida en vasos resistentes ó sifones, en los cuales se utiliza la presión del gas para que salga el líquido por un tubo central.

Nos limitamos á estas ligerísimas nociones generales, estimando que este asunto tendrá mejor cabida en el tomo consagrado á la industria de los gases. Está, en efecto, fundada únicamente en el empleo del ácido carbónico, y en lo que concierne al agua que sirve de vehículo al gas, lo que hemos dicho respecto á su purificación no podría repetirse aquí. La industria de las aguas gaseosas tiende á simplificarse cada día más, y estamos ya muy lejos de aquellos primeros aparatos que ocupaban un espacio considerable y producían por disposiciones complicadas un ácido carbónico más ó menos impuro. La fabricación de este gas en el estado líquido se hace hoy en la práctica industrial y se expende en recipientes muy resistentes de acero en cantidades considerables, como hemos visto para sus congéneres el ácido sulfuroso, el cloruro de metilo, el amoníaco, etc. Estos son tubos de un manejo cómodo, que se ponen en relación por medio de una llave adecuada con el agua que se va á gasificar, de manera que toda la instalación del fabricante de agua gaseosa puede hallarse en unos cuantos metros cuadrados.

Para llenar por completo el programa que comprende los usos físicos y químicos del agua, hubiéramos debido examinar en detalle otro de sus cambios de estado, y es el en que se emplea transformada en vapor como fuerza motriz. Se comprende que no hubiéramos podido abordar con fruto este inmenso asunto, que entra totalmente en las aplicaciones de la mecánica. Hemos tenido principalmente por objeto, en este tomo, mostrar la importancia del agua como uno de los cuerpos que sirven de fundamento á todas las industrias químicas, al mismo tiempo que es, ya como alimento inorgánico indispensable, ya como agente físico poderoso, uno de los factores principales de la vida y de la configuración del globo.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

ÍNDICE DE MATERIAS

PÁGINAS

ADVERTENCIA DEL TRADUCTOR.. 1

CAPÍTULO PRIMERO

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

Composición del agua, historia de su descubrimiento.—Propiedades físicas; cambio de estado.—Propiedades químicas.—Importancia de sus propiedades. 3

CAPÍTULO II

EL AGUA SOBRE EL GLOBO

El agua en la atmósfera; estado higrométrico, meteoros acuosos, lluvias.—Aguas de arroyos, aguas de infiltración, manantiales ordinarios y termominerales.—Acción de las aguas continentales. 21
Aguas de mar; acciones físicas, químicas y biológicas. 34
Ventisqueros. 42

CAPÍTULO III

CARACTERES DE LAS AGUAS POTABLES

Caracteres de las aguas meteóricas, principios disueltos.—Aguas corrientes, materias en suspensión y en disolución; aguas de los lagos, aguas artesianas, aguas de fuentes y de pozos, aguas estancadas. 46
Caracteres de un agua potable; cualidades físicas y químicas, su apreciación y valor relativo.—Los microorganismos de las aguas; importancia del examen bacteriológico en la apreciación de las aguas potables. 59

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LAS AGUAS POTABLES

Análisis químico: materias orgánicas, ázoe nítrico amoniacal, albuminoide.—Oxígeno.—Sales minerales, hidrotimetría. . . 74

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Análisis bacteriológico; método de cultivo y de numeración de las bacterias de las aguas.—Investigación de las especies patógenas.. 81

CAPÍTULO V

DEPURACIÓN Y FILTRACIÓN DE LAS AGUAS POTABLES

Medio de purificación de las aguas.—Filtración en grande, filtros de diversas poblaciones; Londres, Berlín, Marsella, Viena, Glascow, Nantes.. 89
Filtros de acción química Howatson; filtros Delhôtel y Moride, Chevalet; depurador de arena de Robert —Depuración de las aguas por el hierro, procedimiento de Anderson; depuración por el ozono, procedimientos de Tyndal, Schneller y Van der Sleen.. 97
Filtros domésticos, piedra porosa, bizcocho de porcelana; bujías Chamberland, bujías de tierra silícea, bujías de porcelana de amianto. 111
Esterilización química; polvo Maignen, permanganatos de potasa y de cal. 116
Surtido de los buques con agua potable. 117

CAPÍTULO VI

DEPURACIÓN DE LAS AGUAS INDUSTRIALES, SEPARACIÓN DE LOS POSOS (DESTARTRADO)

Importancia de la depuración de las aguas; incrustaciones; procedimientos y aparatos para el *destartrado* de las aguas, aparato Chevalet; procedimiento de Bohlig y Heyme, por medio de la magnesia. Empleo de la cal; aparatos de depuración de Howatson, aparato Desrumaux.—Desincrustaciones diversas. 120

CAPÍTULO VII

FABRICACIÓN DEL HIELO

Neveras.—Mezclas frigoríficas.—Aparatos de Carré, Imbert, Pontifex y Wood y Tellier.—Máquinas de aire, máquinas de gases liquidados; ácido sulfuroso (anhidrido), cloruro de metilo, gas amoníaco, ácido carbónico; máquinas de Pictet, Vincent, Linde, Kilbourn, Fixary y Windhausen. 136
Fabricación del hielo transparente; procedimientos diversos.. . 153

Tetuán de Chamartín.—Imp. de Bailly-Baillière é Hijos.

BIBLIOTECA PÚBLICA MUNICIPAL MADRID
Ministerio de Educación, Cultura y Deporte

Ministerio de Ed

LIBRERÍA EDITORIAL DE BAILLY-BAILLIERE É HIJOS
Plaza de Santa Ana, núm. 10, Madrid.

EN PRENSA

PEQUEÑA ENCICLOPEDIA PRÁCTICA

DE

QUÍMICA INDUSTRIAL

PUBLICADA

bajo la dirección de **F. BILLON**, ingeniero químico.

Colección completa en 30 tomos.
Precio de cada tomo: 1,50 pesetas en rústica; 2 pesetas en tela.

TÍTULOS DE LOS TOMOS DE LA COLECCIÓN

1.° *Historia de la industria química.*
2.° *La Sal.*
3.° *Sosas y potasas.*
4.° *Azufre y sus derivados.*
5.° *Cloro y sus derivados.*
6.° *Productos nitrados y amoniacales.*
7.° *El agua.*
8.° *El azúcar.*
9.° *El alcohol.*
10. *Vinos y vinagres.*
11. *Cerveza, sidra y perada.*
12. *Harinas y féculas.*
13. *Leche, cuerpos grasos alimenticios.*
14. *Conservas alimenticias.*
15. *Sustancias animales.*
16. *Abonos.*
17. *La madera.*
18. *La industria de los gases.*
19. *El petróleo.*
20. *Cuerpos grasos industriales.*
21. *La Perfumería.*
22. *Barnices, mastics y pulimentos.*
23. *Teñido é impresión.*
24. *Colores minerales.*
25. *Explosivos, pirotécnica y cerillas.*
26. *Metales térreos.*
27. *Hierro, fundiciones y aceros.*
28. *Cobre, plomo y mercurio.*
29. *Zinc, estaño, níquel y cobalto.*
30. *Oro, plata y platino.*

CONDICIONES POR SUSCRIPCIÓN Á LOS 30 TOMOS

1.° **Pago anticipado**, es decir, al hacer la suscripción y recibir los tomos á medida de su publicación. En rústica, 36 pesetas; en tela, 5[illegible]
2.° A pagar á plazos de 10 pesetas. En rústica, 40 pesetas; en tela, 5[illegible]

Pagaderos como sigue:

Al hacer la suscripción.	10	pesetas.
A la publicación del tomo 10.	10	—
A la publicación del tomo 20.	10	—
A la publicación del tomo 30.	10	—

Para los que la deseen encuadernada en tela, los plazos serán de 13

NOTA IMPORTANTE.—Se publicarán dos tomos mensuales á partir junio. Una vez publicado el tomo 25 no se admitirán suscripciones del precio

Tetuán de Chamartín.—Imp. de Bailly-Baillière é hijos.

106

2901