

BOLETIN MINERO

DE LA

Sociedad Nacional de Minería

SANTIAGO DE CHILE

SUMARIO

	Pájs.
Tecnología de la Industria de la Sal (Continuacion).....	63
Contribucion al estudio de la flotacion.....	102
El Bureau of Mines de los Estados Unidos.....	124
Situacion del Mercado de Metales i Minerales.....	128

Tecnología de la industria de la sal

(Continuacion)

Evaporacion con vapor. Evaporacion en tanques de doble pared.—Hace algunos años los blocks para la extraccion de sal en Wyoming Valley, Nueva York, tenian separadores apoyados en bastidor i rodeados por una chaqueta de vapor cubierta con material aislante, en vez de estar suspendidos i espuestos al fuego directo, como en el procedimiento de vaso abierto. De esta manera los evaporadores podian calentarse uniformemente, i sus paredes eran suficientemente delgadas para la económica trasmision del calor i se obtenia un producto de grano siempre uniforme, i por lo tanto, de buena calidad. Se sabe que actualmente no se usan ya estos tanques evaporadores forrados en el Estado de Nueva York.

Procedimiento de cristalizadores.—*Principios jenerales de la cristalización de la sal.* Si una solucion saturada de sal es concentrada por evaporacion, parte de la sal se deposita en forma cristalizada, hasta que la solucion adquiere un nuevo estado de equilibrio de saturacion. Las diferentes sales poseen diferentes grados de solubilidad, o, en tres palabras, se requieren diferentes proporciones de ellas para saturar una determinada cantidad de agua a una temperatura dada. Por lo tanto, si una solucion que contenga cantidades iguales de varias sales se concentra gradualmente

por evaporacion, una de estas sales alcanza primero su punto de saturacion i comienza a cristalizar i formar depósito ántes que las otras; otra sal en seguida alcanza a su vez el punto de saturacion i forma un depósito mezclado mas o ménos como el de la primera sal, que aun continúa depositándose; finalmente, despues de que toda el agua, con escepcion de la contenida en los cristales, se ha evaporado, resulta una serie de depósitos correspondiente el primero en el fondo a la sal que primero alcanzó el punto de saturacion i la mas soluble de la parte superior. Si el líquido resultante se estraee ántes de que la segunda sal alcance su punto de saturacion, el depósito de la primera estará solo lijeramente contaminada por la solucion adherente, i puede hacerse muy puro disolviéndolo en agua dulce i cristalizándolo de nuevo. Este es el principio del procedimiento jeneral de purificacion por cristalicacion fraccionada.

Por otra parte, si a la solucion orijinal se le añade una mayor cantidad de líquido ántes que empiece a cristalizar la segunda sal, la concentracion de la primera es mucho ménos disminuida que las de las otras i el depósito de ellas es retardado por lo tanto. Por consiguiente, puede formarse un grueso depósito de la primera sal por evaporacion continua i sucesivas soluciones de solucion primitiva, hasta que finalmente la concentracion de las otras sales llegue a ser tan grande que comiencen a depositarse a su vez. Este es el principio de separacion que se sigue en el procedimiento de cristalizadores. Este procedimiento fundamental que puede demostrarse en cualquier laboratorio, es, segun se cree jeneralmente, el observado en la formacion de las salinas naturales.

Condiciones jenerales respecto al uso del calor perdido.—La informacion que sigue con respecto al uso del calor perdido, se debe a Willcox, que habia tenido una gran esperiencia en el asunto. «El bajo precio de la sal, que ha prevalecido en los últimos años, i que, segun las indicaciones actuales, continuará todavía por algun tiempo, obligó a prestar su atencion a los productores de sal, sobre la economía en el manejo de sus plantas. El bajo precio de la sal, el aumento siempre creciente del costo del trabajo i las molestias resultantes de huelgas, etc., habian tenido efecto: primero, la introduccion de la maquinaria en las plantas de sal, i segundo, respetar el interes de los productores en el problema para introducir los medios mas eficaces para la evaporacion i decantacion del agua salada.»

Algunas disposiciones en los aparatos evaporadores i métodos de operacion habian sido desarrollados como resultado de la esperiencia en cada distrito productor, donde, por lo tanto, se siguen los métodos que se han encontrado mas convenientes para sus requisitos esenciales, i estos métodos, con el transcurso del tiempo, han llegado a ser el tipo de práctica para cada distrito. En algunas secciones se habia estudiado mucho el problema de la evaporacion del agua salada, i una voluminosa literatura se habia

dedicado a la parte química de la producción de la sal; ninguno, sin embargo, se había dedicado a estudiar la injerencia de la ingeniería en el problema. En algunas secciones, debido a la abundancia de combustible barato, o a otras causas, se había dedicado poca atención al asunto de la evaporación económica; en lugares semejantes, sólo la cantidad del producto obtenido había sido naturalmente la consideración principal.

La práctica típica en cada región productora de sal había sufrido pocos cambios o mejoras, hasta hace diez años, i estos cambios i mejoras se debían en gran parte al bajo precio a que tenía que venderse la sal.

La manufactura de la sal, mas especialmente por el procedimiento de cristalizadores, se lleva a menudo en unión de otra industria. En Michigan, la industria se desarrolló grandemente como un anexo a la explotación de madera, i aun hoy continúa ligada con ella; en otros lugares la extracción de sal está ligada con alguna industria local; así, en Cleveland, Ohio, cerca de Ithaca, Nueva York, i en Pomeroy, Ohio, es aprovechado el escape de vapor de las plantas de tracción, i en un caso el calor para la extracción de sal viene de la planta eléctrica i una explotación minera a la que está íntimamente ligada. En estos casos se ha aprovechado ventajosamente el bajo costo del calor.

En muchos otros lugares se está empleando el calor que ántes se desperdiciaba; como, por ejemplo, el contenido en los condensadores o el de agua caliente resultante de las diversas dependencias de una fábrica, i en unos cuantos lugares se usan economizadores para utilizar el calor de los gases de las chimeneas.

Manipulación del agua salada. Bombeo.—El agua salada viene generalmente desde varios cientos de pies abajo de la superficie, en algunos lugares alcanzando a 2,300 pies. Varios métodos se usan para levantar el agua salada hasta la superficie; entre los mas comunes se encuentran: 1), elevación por medio del aire o sistema Pohlé; 2), el método hidráulico, i 3), el antiguo sistema de bombas de émbolo.

En el primer procedimiento, el aire es inyectado por una cañería en el interior del pozo, en el cual se encuentra el líquido; el agua sube así hasta la superficie i ya completamente aireada para ir a los primeros tanques de decantación. Los detalles de esta operación tienen muchas variantes no sólo de una región a otra, sino en la misma comarca.

En algunas partes de Michigan el agua salada es elevada por presión hidráulica; esto es, forzando una corriente de agua en el pozo, con lo que se consigue elevar el agua salada del mismo pozo o de otro diferente. El agua se inyecta dentro del tubo del pozo i el agua salada sale por el tubo interior. En algunos puntos ha progresado tanto la disolución del subsuelo, que han llegado a comunicarse las «cavidades» de pozos separados, i en una instalación han llegado a comunicarse cuatro de estas «cavidades». Algunos

operadores aseguran que la elevacion del agua salada por presion hidráulica es mas satisfactoria que por el aire comprimido, porque puede obtenerse un líquido de mayor fuerza, mas económicamente i con menor desgaste en la maquinaria.

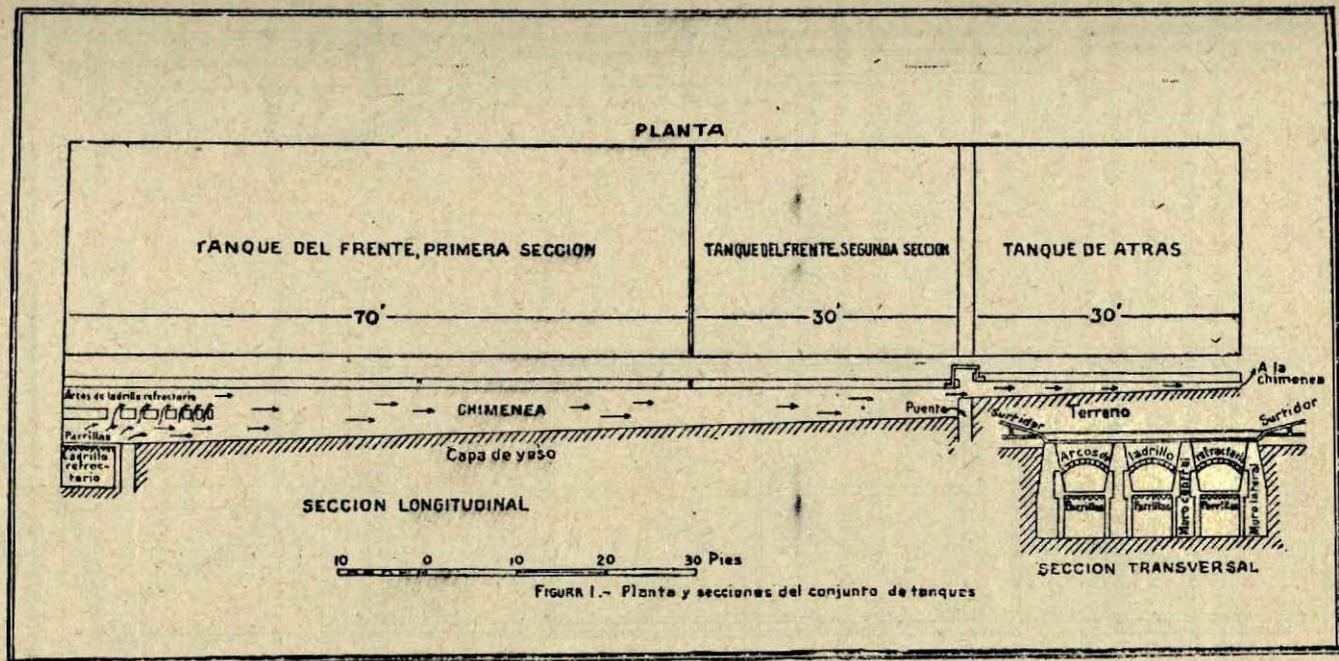
En el Oriente de Ohio, Virginia Occidental, Pensilvania i algunos lugares del Saginaw Valley, se ha empleado el sistema de las antiguas bombas de émbolo; pero en otras instalaciones de los mismos Estados se emplean bombas de tipo moderno para pozos profundos. La tendencia actual es hácia la supresion de las antiguas bombas de émbolo i la sustitucion por aire comprimido. A lo largo del rio Ohio, los métodos antiguos han pasado a la historia.

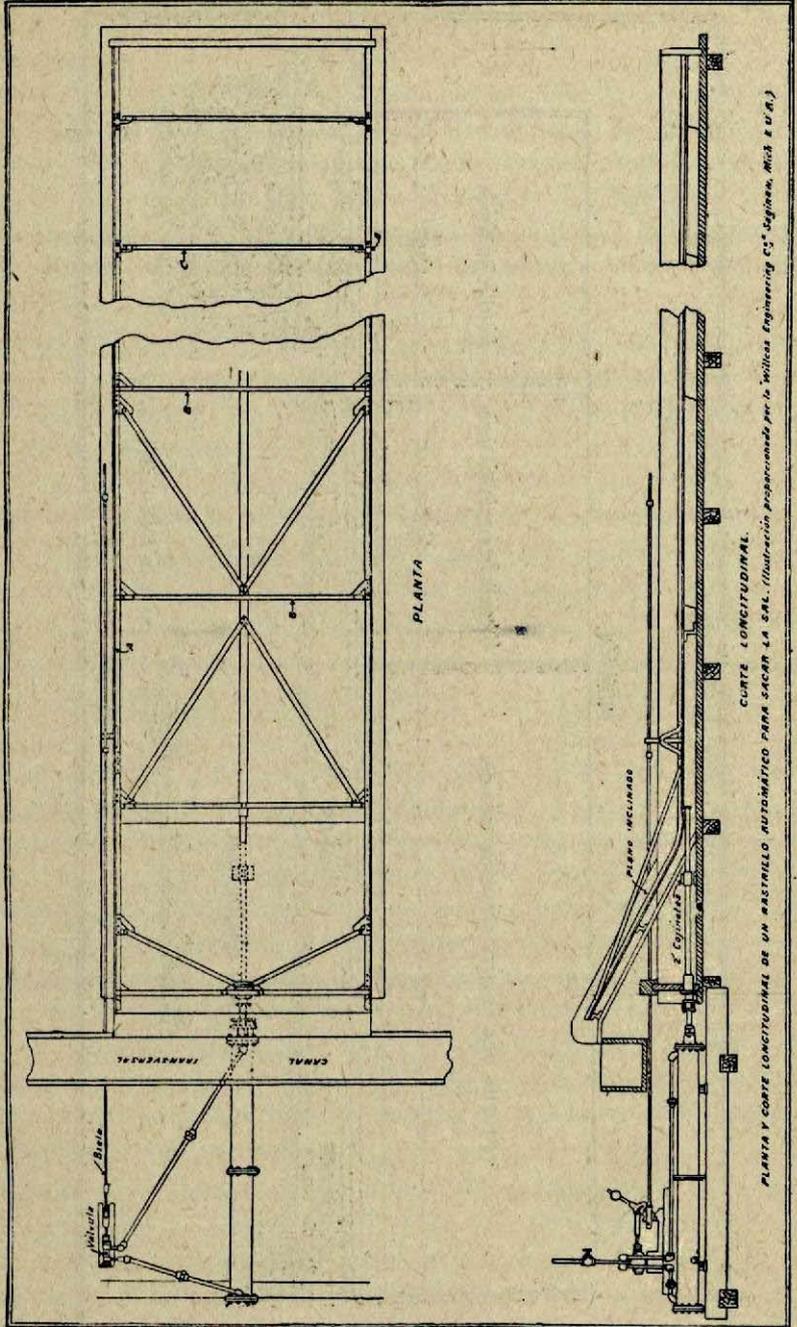
Clarificacion.—Una vez que el agua salada llega a los tanques de decantacion, se la deja reposar para permitir el escape de los gases i la oxidacion i precipitacion de las sales de fierro; la aeracion se practica en algunas partes por la simple agitacion del líquido.

Despues de estar el líquido en contacto con el aire por la aeracion mecánica, se trata con lechada de cal, ajitándolo para conseguir una mezcla íntima i se deja reposar hasta que se asiente por completo. Para quitar el exceso de cal, en algunas instalaciones se agrega ceniza de sosa.

Calentamiento previo.—Para conseguir buenos resultados, se deja llegar el agua salada a los cristalizadores en la misma relacion del agua evaporada i a una temperatura lijeramente inferior a la de la salmuera en el cristalizador; para conseguir esto, el agua se calienta por separado en tanques destinados al efecto, i que son tan largos i tan anchos como el cristalizador mismo; pero jeneralmente mas profundos, i, por lo tanto, de mayor capacidad. El calor empleado es el que ántes se perdía; por ejemplo, el de los condensadores, escapes, o agua caliente proveniente de todas las partes de la fábrica, etc. Siempre que haya un excedente de vapor, como durante el bombeo, se debe emplear el vapor directo. Algunas veces se usan dos series de calentadores, empleando agua caliente en la primera i escapes de vapor en la segunda, para elevar mas aún la temperatura. Los economizadores consisten en muchos fluxes en contacto con el agua salada i haciendo pasar por ellos los gases que van a la chimenea, abandonan al agua mucho del calor que de otra manera se pierde; en casos semejantes se ayuda el tiro con un soplador.

Descripcion jeneral del procedimiento.—El cristalizador o procedimiento de Michigan para la estraccion de sal, es de oríjen americano. En pocas palabras, consiste en hacer pasar una corriente de vapor directo o de escape a traves de cañerías metálicas sumerjidas en el agua salada que se va a evaporar; el agua salada está contenida en el cristalizador, que es una artesa larga, angosta i poco profunda, construida de madera o de metal, apoyada





en un bastidor cualquiera, o de cemento o concreto, apoyada en un cimiento de arena.

En algunos distritos el procedimiento se lleva a cabo de una manera mui eficaz, teniendo cuidado de conservar el calor siempre que sea posible i el manejar la sal tan poco como sea practicable; estas instalaciones han podido jeneralmente resistir a la competencia activa que en la industria de sal se manifiesta de una manera evidente por todas partes. En cambio, muchas otras plantas de cristalizadores han adelantado poco durante los últimos años, i, por lo tanto, disminuido constantemente su produccion; algunas han tenido que paralizarse completamente. Muchas de las instalaciones deben sencillamente su existencia a alguna ventaja decisiva, tal como combustible barato i fácilmente obtenible, consumo del bromo, cloruro de calcio u otros subproductos.

El rendimiento de un cristalizador varia considerablemente; depende: 1) del uso que se haga ya sea del vapor directo, vapor de escape o agua caliente; 2) de sus dimensiones, i 3) del rendimiento jeneral, con el cual se conduzcan las distintas operaciones. En las plantas en donde se usan los llamados cristalizadores divididos i donde el procedimiento de estraccion de sal es lento, el rendimiento es naturalmente mas pequeño que en las plantas donde se usa el vapor de los escapes. El tiempo de trabajo que requiere un cristalizador, ántes de hacer necesaria su limpieza, es un factor variable; pero un gran intervalo de tiempo entre las limpiezas no significa en modo alguno que la sal resultante sea de calidad inferior, porque precisamente en algunos de los cristalizadores es el propósito desarrollar el procedimiento de una manera lenta, para obtener un producto correspondientemente grueso.

Construccion de un cristalizador.—El cristalizador se construye de madera, de cal o concreto reforzado; debe ser completamente impermeable, aun bajo grandes diferencias de temperatura; los cristalizadores antiguos de madera, especialmente en Michigan, se hacian de pino blanco, que entónces era mui abundante. Estos cristalizadores de pino resistian espléndidamente la accion del agua salada; eran de fácil construccion, no se contraian i cuando se calafateaban convenientemente con estopa, prestaban buenos servicios casi por cinco años; algunos cristalizadores se hacian de maderas duras, i al autor en Michigan, en 1911, le llamaron la atencion unos cristalizadores construidos con fondo de maple i paredes de haya. El cristalizador de concreto reforzado es un tipo mas reciente; es monolítico; no tiene juntas de expansion i jeneralmente está provisto de rastrillos mecánicos. Reposa sobre un lecho de arena bien apisonada, que la proporciona un asiento uniforme i disminuye las pérdidas de calor por radiacion; sus paredes tienen de 5 a 7 pulgadas de grueso; el fondo, de 4 a 6, i el refuerzo se hace con barras de acero de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Rastrillos mecánicos.—Durante la fase de la evaporacion, es necesario sacar la sal que se acumula en el fondo del cristalizador; esta operacion se hace, ya sea a mano cuando el cristalizador está casi lleno, o automáticamente, a paso i medida que se deposita la sal. El método automático es el jeneralmente adoptado, porque es el ménos costoso a la larga i evita la dificultad de conseguir trabajadores que tengan que permanecer en una atmósfera fuertemente cargada de vapor, como es la que hai siempre en las piezas donde están instalados. Se han inventado varios tipos de rastrillos para sacar la sal, cuyo objeto es recojerla i llevarla a un plano inclinado o delantal (apron), en una de las estremidades del cristalizador; cualquiera que sea su construccion, un rastrillo mecánico debe ser capaz de mantener constantemente limpia una superficie de 100 a 150 piés de largo por 12 piés de ancho, i deben llevar la sal al plano inclinado en una cantidad tal, que se pueda drenar convenientemente, ántes de pasar a los conductores mecánicos, que la lleven a los almacenes.

Jeneralmente se usan rastrillos de fierro o acero; pero estos metalés son atacados rápidamente i se deterioran en una atmósfera tan cargada de sal; ademas, las sales de fierro que se forman, colorean el producto i lo abaratan por lo tanto. Antiguamente se empleaban cadenas para la construccion de los rastrillos; pero se ha abandonado su uso por la facilidad con que se rompen; tambien se han abandonado los sistemas con ruedas, por la rapidez con que se destruyen en la atmósfera salina. Los mecanismos instalados en la parte de afuera i de arriba, no son de recomendarse, porque obstruyen la superficie de evaporacion. Por esta razon en los rastrillos automáticos mas satisfactorios deben estar enteramente sumerjidos en el líquido i accionados por un cilindro hidráulico, colocado en el frente del cristalizador i debajo de las tuberías del mismo; de esta manera la corrosion se reduce al mínimo i no se tiene dificultad con la sal coloreada.

El rastrillo, figura adjunta, consiste esencialmente en un bastidor, compuesto de dos escuadras de acero (A), dentro del cristalizador; cerca de su fondo i adyacentes a las paredes laterales, entre estas escuadras i a intervalos, se encuentran unas barras transversales B, i el bastidor así formado lleva una serie de placas barredoras C, mui delgadas, que se estienden de un lado a otro del cristalizador i apoyadas en las dos escuadras laterales por simples salientes o dedos a. Los rastrillos jeneralmente se colocan a una distancia de 8 piés uno de otro i el conjunto tiene un movimiento de vaiven con una carrera casi de 9 piés, de manera que cada rastrillo camina casi un pié mas allá de la posicion inicial del rastrillo siguiente. De esta manera la sal pasa gradualmente desde el frente del cristalizador hasta el plano inclinado.

Las escuadras laterales se mueven sobre una serie de zapatas planas de fierro fundido, colocadas a intervalos convenientemente en el fondo

del cristalizador; el vástago del émbolo del cilindro hidráulico penetra al cristalizador a través de una caja de empaque protegida con anillos de empaadura metálica. El cilindro tiene jeneralmente 8 pulgadas de diámetro i una carrera de 9 piés; da un golpe completo cada dos minutos i saca una carga de sal cada 4 o 5 minutos.

Conductores de banda.—En un día seco la sal se encuentra seca igualmente i en los conductores de bandas se comporta de una manera análoga a la azúcar granulada; pero a medida que aumenta la humedad se reblandece i entónces escurre agua salada del conductor; si éste es de banda, la sal en un día seco fácilmente puede desprenderse de él por un rastrillo diagonal, formado por una placa de vidrio; pero en un día húmedo, la sal se pega tanto a la banda, que su remocion se hace excesivamente difícil. Otra dificultad con los conductores de banda que tienen rodillos de fierro, es la excesiva corrosion de éstos; el lado interior de la banda se cubre mui pronto con moho de hierro, que mas tarde o mas temprano bajo la accion de la deliquesencia de la sal, produce agua sucia que colora la sal que cae a las pilas de depósito. Se ha pensado, como sustituto de los rodillos de fierro, uno de madera de 5 pulgadas de diámetro, 2 o 3 pulgadas mas ancho que la banda, calado en un eje de fierro; las chumaceras son de un maple bien seco i se usa como lubricante la grasa ordinaria para copas. Si un conductor de banda trabaja por un tiempo largo, se acumula la sal sucia a lo largo de sus bordes i alrededor de los rodillos extremos.

Procedimiento Alberger.—Los puntos principales del procedimiento Alberger, que es una modificacion al procedimiento de cristalizadores patentado por Williams Alberger, son los siguientes:

Una de las características del procedimiento de caracterizadores es la purificacion prévia del agua salada; la separacion de las sustancias como el sulfato i carbonato de calcio se efectúa en un purificador, calentando el agua salada a 250° o 300° F., de manera que estas impurezas se vuelvan insolubles. Los purificadores son jeneralmente cilíndricos; pero hai algunos que son mas ámplios en el fondo que en la boca i se construyen jeneralmente de lámina para caldera. De acuerdo con una patente última, los purificadores se llenan en parte con grava de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro. El agua salada bajo presion entra al purificador, donde las impurezas se depositan en la grava i en la superficie interna del mismo; por agitacion o rotacion del purificador se consigue que las superficies se raspen una con otra, de manera que se rompan las incrustaciones, las cuales se remueven en seguida con un chorro lavador o por cualquier otro método apropiado.

El cristalizador usado en el procedimiento Alberger, es un tanque evaporador circular, que se llena con agua salada a una altura de un pié. Unido a su fondo i con una abertura en un punto de la periferia se encuentra un mezclador en el cual se deposita la sal sacada del fondo del cristalizador

por unos rastrillos calados en un eje jiratorio; otro eje con aspas ajita la superficie del líquido. Los rastrillos jiran lentamente para evitar raspar demasiado el contenido del cristizador i están completamente sumerjidos; las aspas en la superficie jiran con una mayor rapidez. El aparato se alimenta de una manera continua i los serpentines de vapor se encuentran en la parte exterior para no entorpecer el trabajo de los rastrillos.

El agua salada, despues de haber sido preparada convenientemente en el purificador i calentada a la temperatura propia (226° F.), se estiende sobre la superficie del cristizador. Las aspas superficiales golpean la sal a medida que se forman pequeños cristales en la superficie del líquido i la obligan a caer al fondo i tambien chocan contra una obstruccion especial de manera que se desprenda la sal que tenga adherida. Los rastrillos que jiran mas lentamente ayudan a la circulacion del agua salada i barren la sal, a medida que se forma del centro hácia la periferia, de donde pasa al mezclador i despues a una centrífuga, donde se seca en parte. Si no contiene sustancias insolubles, pasa a los secadores de vapor, despues a los molinos i clasificadores, para quedar enteramente lista para el consumo.

BROMO

Estraccion del bromo.—Cuando se estraee el bromo de los líquidos residuales de la manufactura de la sal, puede decirse que es un anexo al procedimiento de cristizadores; por esta razon se pensó que seria mas conveniente describir en este lugar la estraccion del bromo. Debe recordarse, sin embargo, que la mayor parte del bromo producido como tal o en la forma de bromuros, en los Estados Unidos, no tiene absolutamente ninguna relacion con la manufactura de la sal.

Historia.—La manufactura del bromo en los Estados Unidos se remonta a mediados del siglo XIX. La patente americana 12,077, otorgada a Amalie Stieren de Natrona Pa., el 12 de Diciembre de 1854, i refundida despues, describe un «método perfeccionado para tratar las aguas madres de las salinas para obtener productos útiles». Se describen las operaciones para obtener sulfato de magnesio, yodo i bromo de las aguas de fuentes salobres. A esta patente siguieron otras.

Comentarios sobre la industria.—El tipo jeneral de instalacion para bromo, incluyendo pozos de sal i aparatos para estraerla, ha sobrevivido en los Estados Unidos solamente por condiciones económicas escepcionales. El carbon u otro combustible barato i la distancia de los centros competidores han sido sin duda factores importantes.

El bromo se estraee de las aguas saladas naturales, que no son de la

misma pureza que las aguas saladas artificiales, i de las cuales se estraee la sal en Nueva York, en el Norte de Ohio i a lo largo de los rios Detroit i St. Clair, en Michigan. Las aguas naturales no están tan saturadas como las que se obtienen por la disolucion de la sal jema, por lo que requieren mucho mas calor para su evaporacion. En algunos lugares los aparatos evaporadores para aguas naturales han exigido el uso del cobre i del bronce, en vez del fierro que se usa en los equipos elaboradores para aguas artificiales. Por esta i otras razones, la competencia con la sal estraída de la sal jema, ha sido mucho mas intensa de año en año i la industria del bromo i de la sal a lo largo de los rios Ohio i Kanawha i en el Saginaw Valley ha disminuido constantemente.

Sin duda alguna, bajo las condiciones que existian ántes de la guerra europea, habia una sobreproduccion de bromo fácilmente aprovechable en el consumo mundial i los precios eran tan bajos, que algunos productores de bromo se vieron obligados a almacenar sus productos en espera de mejores precios.

Mucho bromo se halla en relacion con los depósitos de sales de potasio en Stassfurt, Alemania. El bromo se dice que se presenta en la forma de bromo-carnalita, yisomorfa ($Mg Br^2 MBr \cdot 6H^2O$). Con carnalita ordinaria. Aunque los depósitos alemanes suministran mas de la mitad de la produccion mundial de este artículo, mucho bromo aleman tenia que tirarse i hubo que buscarse, por lo tanto, urjentemente nuevas aplicaciones; la suma de \$ 2,500.00 ofreció la Deutsche Bromkonvention Gesellschaft, Leopoldshall-Stassfurt, a quien descubriera un procedimiento o compuesto que condujera a un aumento o nuevo consumo del bromo. Los términos del ofrecimiento eran tales, que el descubrimiento no representara una innovacion técnica o fuera adverso a los usos actuales del bromo i deberia conducir tambien a un aumento considerable en el consumo europeo de dicha sustancia.

La industria del bromo en los Estados Unidos ha sufrido grandes cambios desde que la guerra europea empezó; ántes de la guerra los bajos precios del bromo obligaron a algunos industriales a almacenar su producto; pero cuando la produccion del bromo de Alemania i especialmente la de bromuros, quedó cortada, las facilidades domésticas no pudieron abastecer la demanda americana, con lo cual hubo una brusca elevacion en los precios. En un tiempo comparativamente corto, cambiaron las condiciones i este pais puede ahora, sin duda alguna, abastecer a sus propias necesidades.

A medida que aumentaba la demanda, muchos nuevos productores entraron al negocio, dando por resultado un nuevo arreglo en la industria; ahora se hacen sentir ya los efectos de las mayores facilidades i muchos de los pequeños negociantes que se dedicaron a la industria al principio

de la guerra, han obtenido buenas remuneraciones. La mayor parte de los cambios en la industria han tenido lugar en el Saginaw Valley, que es uno de los pocos pero importantes centros productores de bromo en los Estados Unidos.

Uno de los arreglos ventajosos que trajo la guerra europea es que muchas instalaciones productoras de sal en las cercanías de Saginaw, Michigan, algunas de las firmas se dedican ahora exclusivamente a la producción de bromo; compran todas las aguas madres que pueden conseguir de los productores de sal que no las utilizan, i de esta manera la manufactura del bromo i del cloruro de calcio de las aguas madres se lleva a cabo ahora en pocas instalaciones relativamente, utilizando todos los líquidos residuales, que hace unos cuantos años se desperdiciaban en su mayoría.

Métodos para la extracción del bromo.—El bromo, bajo la forma de compuestos químicos, se encuentra en las aguas saladas naturales, pero sólo en mui pequeña proporción. En estas aguas está siempre asociado con otras sales, siendo las principales los cloruros de sodio, magnesio i calcio. El bromo se obtiene jeneralmente de las aguas madres que resultan de la extracción de la sal; pero en algunas instalaciones se extrae directamente de las aguas sin concentrar.

Hai, cuando ménos, tres métodos típicos empleados para la producción del bromo; todos ellos, o cuando ménos dos, se usan ahora en los Estados Unidos; se conocen con los nombres de (1), procedimiento periódico o intermitente; (2), procedimiento continuo, i (3), procedimiento electrolítico.

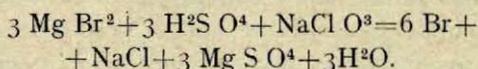
Procedimiento periódico o intermitente.—En el sur de Ohio i la Virginia Occidental, despues de la extracción de la mayor parte de la sal en los cristalizadores principales, la salmuera sufre una mayor concentración en el último cristizador, hasta alcanzar la graduación deseada, ántes de entrar al horno de destilación del bromo, jeneralmente de 39° a 41° B.; (gravedad específica: 1.370 a 1.397 a su temperatura mas alta).

Los hornos de bromo se hacen de arenisca, procurando que esté libre de óxido de fierro i tenga una estructura compacta, propiedades físicas i químicas que se adaptan bien para el objeto. Los hornos se construyen de varias maneras; algunos están formados de blocks cúbicos o rectangulares, ahuecados i colocados uno junto al otro, de manera que las partes huecas formen una sola cámara interior i otros están contruidos con corona de arenisca, de 6 pulgadas o mas de espesor i sujetas con grapas i unidas con un material a prueba de ácido i de bromo, como el asbestos o el algodón con blanco de plomo; las paredes superior e inferior de los blocks son jeneralmente mas gruesas que las otras, i en la parte superior se perforan unos agujeros para admitir el agua salada i las demas sustancias químicas. La capacidad de trabajo de los hornos varia de 400 a 1,200 galones de líquido.

Para poner en libertad al bromo, se usan clorato de sodio i ácido sul-

fúrico a 66° B; antiguamente se usaba bióxido de manganeso i ácido sulfúrico i despues se usó clorato de potasio i ácido sulfúrico. Comparando los pesos moleculares del clorato de potasio (123), i el clorato de sodio (107), se ve que este último compuesto es un agente oxidante mas enérgico que el primero, peso por peso, i sin tener en cuenta el menor precio del compuesto de sodio que ahora se usa casi esclusivamente. Algunos usan ácido sulfúrico a 60°, que cuesta mucho ménos que el de 66°. Sin embargo, la facilidad con la cual los ácidos diluidos atacan al fierro, especialmente los tanques en que son trasportados, ha sido la causa de que el ácido mas concentrado se use hoi de preferencia.

Despues de que el agua salada entra en el horno i se han añadido las cantidades requeridas de clorato de sodio i ácido sulfúrico, se inyecta en la solucion una corriente de vapor. Como la temperatura se eleva, se verifica una reaccion representada aproximadamente por la ecuacion siguiente:



El bromo queda en libertad, se desprende en forma de gas.

La reaccion es mucho mas compleja de lo que indica la ecuacion anterior, puesto que juntamente con el bromo se desprende tambien algo de cloro. El último se separa del primero haciendo pasar la mezcla por tanques lavadores de lechada de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que forma, con el cloro, cloruro de calcio (CaCl^2) e hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})^2$). El bromo que es absorbido por la cal se recupera despues. El bromo así destilado pasa a un condensador, que es una caja rectangular, de 5 piés de largo, a traves de la cual pasan 3 tubos de plomo, que se estienden desde el horno hasta tres vasos colectores de vidrio, dispuestos en serie, unidos uno a otro i a serpentín por medio de arcilla. Cualquiera bromo que pase de la última botella es recojido en torres de 6 a 8 piés de alto i de 2-a 2.5 piés de diámetro, hechos con tubo de barro vitrificado i rellenas de coke. En la base de ellas se junta todo el agua con bromo. El bromo recojido despues de la primera botella, está siempre bastante diluido, por lo que hai necesidad de sujetarlo a una nueva destilacion de 700 galones de agua salada con graduacion de 40° B., se obtienen, mas o ménos, 35 libras de bromo. Las cantidades de clorato de sodio i ácido sulfúrico necesarias para la reaccion, dependen principalmente de la concentracion de la salmuera.

Inconvenientes del método periódico.—De acuerdo con el método jeneral para la estraccion del bromo, anteriormente descrito, el licor madre obtenido por concentracion del agua salada natural i una vez que se ha removido

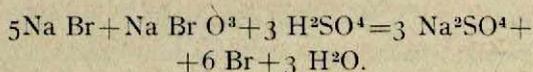
de él la sal cristalizada, se hierve con un ácido i un agente oxidante, para poner el bromo en libertad. El bromo i vapor desprendidos, se condensan en seguida separándose el primero en virtud de su gravedad específica e insolubilidad en el agua.

Este método es costoso a causa del gran volúmen i peso de la solución, de la cual hai necesidad de destilar el producto; es decir, se requieren grandes aparatos para la manipulación del líquido i mucho calor para la destilación. Otros inconvenientes del método químico son la pérdida de tiempo i de materiales i un rendimiento mas bien bajo, puesto que la extracción del bromo sólo es de 60 por ciento de la cantidad total contenida en el líquido primitivo.

Perfeccionamientos en la preparación del bromo.—Las últimas patentes conseguidas, se refieren a métodos de extracción del bromo por reacciones de oxidación, semejantes a las empleadas en el método químico ordinario i que acaban de ser descritas. Sin embargo, los métodos para producir los bromuros i bromatos no se dan a conocer; pero tal vez han de ser obtenidos por el procedimiento continuo, que se describirá mas adelante.

Barstow ha inventado un procedimiento, en el cual el bromo que se pone en libertad se separa por gravedad de la solución que lo acompaña; se forma una solución concentrada de bromuro i de bromato empleándose ya sea el bromuro de sodio o el bromato de sodio o de potasio.

El bromuro i el bromato se emplean jeneralmente en la proporción de 5 del primero para uno del segundo, como lo indica la reacción que aparece adelante; la solución así preparada se lleva a un tanque aplanado con cemento, que tiene un agitador i un gusano de plomo; el ácido sulfúrico se vierte lentamente agitando la solución i conservando una temperatura baja por medio de un serpentín enfriador; pero de tal manera, que esta temperatura sea siempre superior al punto de cristalización del sulfato de sodio que se forma. Hai que poner suficiente ácido para que se combine con las bases que están presentes, de la manera indicada por esta reacción



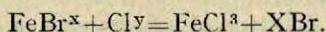
El bromo se precipita en la forma de un líquido mui pesado, que es solo lijeramente soluble en la solución concentrada de sulfato. Despues de haber agregado todo el ácido que se necesita, la solución se enfria hasta el punto de cristalización del sulfato; el bromo se recoje en el fondo del recipiente i se saca de debajo de la solución del sulfato. Se ha encontrado que cuando se usa bromuro de sodio, bromato de sodio i ácido sulfúrico, cerca de 95 por ciento de bromo contenido en el bromuro i en el bromato,

puede extraerse en la forma de bromo líquido, quedando sólo una pequeña cantidad disuelta en la solución de sulfato. Si se desea recuperar hasta esta pequeña cantidad de bromo, se puede lograrlo haciendo pasar una corriente de aire, que después es absorbida en una solución alcalina.

De esta manera es posible tener el producto deseado, esto es, el bromo líquido, como resultado directo de una sola reacción; esto es, verificadas sin ningún gasto inútil de calor en la forma de vapor i evita también la necesidad de manejar también vapores calientes de bromo, que son muy molestos i corrosivos.

Barstow ha inventado otro método diferente para la preparación de bromo. En este procedimiento se usa una fuerte solución de bromuro de hierro i como el bromo, el bromuro de magnesio i el bromuro de sodio se encuentran en las aguas saladas naturales, deben, necesariamente, convertirse primero en bromuros de sodio. Esto se hace por cualquiera de los métodos usuales antes de principiar el procedimiento propiamente dicho.

La figura 3 muestra un diagrama del aparato empleado. La solución concentrada de bromuro de hierro se hace llegar a la torre superior 1, tomándola del tanque abastecedor 2; la solución desciende por esta columna para llegar al condensador 3 i después a la columna 4, en la que se verifica la reacción por medio de una corriente ascendente de cloro gaseoso que se obtiene de un depósito 5. El cloro obra sobre el bromuro de hierro, formando cloruro de hierro i bromo líquido, de acuerdo con la reacción siguiente, en la cual los valores de X e Y varían con las proporciones relativas de FeBr^2 i FeBr^3 contenidas en la solución de bromuro:



Se produce una fuerte solución de cloruro de hierro i bromo líquido; el segundo es sólo en parte soluble en el primero. Durante la reacción se genera algún calor que vaporiza parte del bromo; pero estos vapores se condensan en el condensador 3 i vuelven a la columna 4; si alguna cantidad pequeña de bromo gaseoso es arrastrada por el aire que puede estar mezclado con el cloro, será absorbida en la torre 1 por la solución nueva de bromuro de hierro que viene del tanque 2, puesto que dicha solución contiene generalmente algún bromuro terroso, en razón de que una solución concentrada de bromuro férrico absorbe muy bien mecánicamente el bromo i el bromuro ferroso presente, es un absorbente químico muy activo. De esta manera se evita que el bromo pudiera escaparse del sistema i el aire que llegare a la columna de reacción mezclado con el cloro sale por el escape 6 que mantiene el movimiento ascendente del cloro en la columna de reacción 4. La mezcla de cloruro de hierro concentrado i bromo líquido pasa de la columna de reacción al condensador 7 i después a un recipiente 8, donde

el bromo se separa por gravedad de la solución de cloruro de hierro. A causa de la mayor gravedad específica del bromo, éste se va al fondo del recipiente i la separación de los dos líquidos es suficientemente completa para permitir su salida separadamente por medio de las espitas 9 i 10. El bromo así obtenido contiene jeneralmente una considerable cantidad de cloro que es removido por agitación con una solución de bromuro, de preferencia bromuro de hierro, tal como se usa en la reacción principal. Una pequeña parte del bromo, sin embargo, permanece disuelta en la solución de cloruro de hierro; pero si se desea, puede separarse por medio de una corriente de aire i se absorbe después por otro medio cualquiera, como, por ejemplo, con una solución de bromuro ferroso.

El procedimiento ántes descrito no requiere absolutamente vapor i elimina la manipulación de vapores calientes de bromo, que son muy molestos i corrosivos. Cuando se usa una solución suficientemente concentrada de bromuro de hierro, se tiene, además, la ventaja de producir una solución de cloruro de hierro con gravedad específica de 35° B o más, que es un artículo de comercio. Si el bromo se separa por el método jeneral de inyectar una corriente de vapor vivo, la solución de cloruro resultaría tan diluida que haría necesario su concentración posterior para que pudiera venderse u otro uso comercial cualquiera.

Procedimiento continuo.—Las desventajas inherentes al método intermitente para la extracción del bromo, han conducido a la reacción de lo que se conoce jeneralmente con el nombre de procedimiento continuo; un procedimiento químico, para distinguirlo del método electrolítico, en el cual se logra que el bromuro quede en libertad por medio de una corriente eléctrica. En el procedimiento continuo se usa el cloro gaseoso, como agente para poner en libertad al bromo de sus combinaciones, obteniéndose el cloro por algunos métodos usuales, como, por ejemplo, por la electrolisis de una solución de cloruro de sodio puro o impuro, o por la combinación de productos químicos que desprendan cloro; por ejemplo: polvo de blanquear (hipoclorito de sodio) i ácido sulfúrico.

El cloro gaseoso que es producido en cámaras-tipo por diferentes procedimientos, se hace pasar a través del agua salada que contenga bromo; el bromo queda en libertad, de acuerdo con la simple reacción siguiente: $MBr^2 + Cl^2 = MCl^2 + Br^2$, en la cual M representa un metal cualquiera que abandona mecánicamente al bromo que queda en la solución. El bromo se recupera de esta solución por medio de corrientes de aire. El aire cargado de bromo se hace pasar en seguida en contacto con sustancias tales que formen fácilmente una combinación química con él. Puede usarse el hierro, formándose entónces una solución de bromuro férrico. Si se desea en forma sólida, puede obtenerse bromuro ferroso de la sal férrica, por cualquiera de los procedimientos conocidos.

Existen muchas patentes que amparan las diversas fases de este procedimiento, o sea la manera de producir el cloro gaseoso, que despues se hace pasar a traves del líquido que contiene el bromo.

El agua salada puede ser tratada electrolíticamente en tanques o el cloro ser inyectado en el líquido, ya sea directamente en la forma gaseosa o por medio de una reaccion accesoria que lo produzca en el seno del líquido mismo. El agua salada conteniendo bromo se deposita en tanques poco profundos, colocados cerca de la parte superior de un cuarto cerrado. Los tanques están provistos de una serie de agujeros en su fondo, por los cuales escurre el líquido a una serie de lienzos de fieltro, restirados en bastidores i en posicion inclinada; en vez de fieltros, pueden usarse superficies de madera. Una corriente de aire se hace pasar en sentido contrario a la solucion descendente, que contiene el bromo, de tal manera que el aire fresco venga en contacto con la solucion ménos rica de bromo. De esta manera se separa de la solucion todo el bromo i el aire va pasando sucesivamente en contacto con el líquido mas i mas rico en bromo. El aire sale por un conducto especial, que lo lleva al fondo de un recipiente que en parte está lleno con rebabas o desperdicio de fierro, con el cual se une el bromo para formar bromuro férrico. Con la humedad ambiente se forma una solucion de bromuro férrico, que se deposita en la parte inferior i allí se pasa a un recipiente de piedra. El aire que ha servido para separar el bromo, se vuelve a usar nuevamente i el procedimiento continúa así indefinidamente. El piso inferior del aparato está inclinado para facilitar el escurrimiento del líquido ya usado, que se saca por un obturador hidráulico, para evitar el desperdicio de aire.

Procedimiento electrolítico.—El procedimiento electrolítico para la estraccion del bromo se funda en el principio de que los bromuros se descomponen con un menor voltaje que los cloruros, i, por lo tanto, la corriente eléctrica los descompone primero. Sin embargo de que la reaccion sólo se lleva suficientemente para separar el bromo, resulta siempre alguna produccion de cloro que hai que eliminar despues, usando o no cámara con diafragma i una corriente mui débil no menor de 4 a 5 volts.

Este procedimiento se emplea probablemente en los Estados Unidos, por mas que no se sepa con seguridad.

Debido a la poca concentracion de los bromuros, a la gran cantidad de líquido que hai que manejar i a que tambien se producen bromatos i cloratos, el rendimiento de este procedimiento es bajo.

Una manera de desarrollar el procedimiento es como sigue: El líquido se deposita en tanques de madera mui anchos; en los cuales se verifica la electrolisis por medio de electrodos de carbon. La solucion conteniendo bromo gotea continuamente sobre una serie de mallas colocadas en el interior de una alta torre de madera, en la cual se hace pasar tambien una

fuerte corriente ascendente de aire. El bromo gaseoso se hace pasar despues por un recipiente con agua, donde se forma una solucion acuosa. En el interior de la torre hai tambien unas espirales de alambre o tiras de fierro, con el que se combina el bromo, formando bromuro de fierro. Este compuesto se trata en seguida por hidróxido de sodio, potasio o amonio, segun el bromuro que se desea obtener. Esta mezcla se hierva en tanques cilíndricos de fierro, i despues de que se ha terminado la reaccion, el hidrato férrico precipitado se filtra, concentrando despues la solucion, hasta que cristaliza el bromo, que en seguida se coloca sobre serpentines de vapor o por otro procedimiento cualquiera.

Segun Blonn i Bloxan, «el bromo se obtiene ahora de los residuos de Stassfurt, electrizando las aguas madres entre eléctrodos de carbon en vasos abiertos i sobre los cuales se hace pasar el líquido con una determinada velocidad; se llegan a colocar hasta treinta eléctrodos de carbon secundarios, lo que permite usar una corriente de 90 volts; esta disposicion es la que se ha encontrado que produce el máximo rendimiento. [El bromo puesto en libertad, permanece disuelto en el líquido, del cual se separa por una subsecuente destilacion».

El bromo crudo contiene cloruro de bromo i jeneralmente bromuro de plomo e hidrocarburos; estos últimos derivados de las mezclas alquitranadas. Se mezcla bromuro de potasio para descomponer el bromuro de bromo i se destila en retortas de vidrio.

Usos del bromo.—El bromo se usa en la manufactura de ciertos mordentes derivados del alquitran de hulla i en la manufactura de los bromuros de potasio, sodio, amonio i estroncio. Tambien se usa como reactivo en la química analítica i en la preparacion de ciertos bromuros orgánicos que tienen aplicacion en medicina i en fotografia. El bromo se emplea tambien para la estraccion del oro i en la refinacion del platino, i tiene relacion con la preparacion del azul de Prusia i del permanganato de potasio; tambien es un desinfectante.

Se considera como carga peligrosa por las compañías de trasportes, i algunas veces se presenta bajo la forma de «bromo solidificado», patentado por Frank; consiste en barras de tierra de infusorios, hecha plástica con miel u otra sustancia aglutinante; despues se prensa al tamaño conveniente; se secan i queman hasta que se vuelvan coherentes, pero nunca al grado de que pierdan su porosidad i se sumerjen por último en bromo líquido, contenido en frascos de vidrio de boca ancha. El material poroso absorbe el bromo en la proporcion de 50 a 75 por ciento de su peso. Las barras se venden en las mismas botellas usadas para su preparacion. El bromo en esta forma es mui ventajoso para usarse, puesto que no hai necesidad de pesar el líquido, sabiendo que cada barra representa un peso determinado de la sustancia.

Produccion del cloruro de calcio.—Este punto sólo se referirá al cloruro de calcio obtenido en relacion con la extraccion de sal i del bromo de las aguas saladas naturales. El cloruro de calcio, como desperdicio i producido en tan grandes cantidades, en la preparacion de la sosa al amoníaco, no será considerado aquí porque este cloruro de calcio deriva su base de las calizas i su ácido de la sal comun, i no es, por consecuencia, un constituyente oriñinal de las aguas saladas.

Ohio i Virginia Occidental.—En la preparacion química del bromo, el agua madre de los hornos pasa directamente a la planta del cloruro de calcio, donde jeneralmente se neutraliza con cal i se deja reposar tanto como sea necesario, para despues ir a unos tanques rectangulares para una mayor concentracion. Despues de dejarse reposar, se lleva a unos hervidores para su evaporacion final; los evaporadores son cilíndricos, con base cónica, provista con serpentines de vapor o con doble pared, para la circulacion de vapor vivo.

El líquido se hierve en ellos hasta la consistencia de un jarabe grueso, i entónces se saca por un agujero que hai en el fondo del hervidor i se deposita en tambores metálicos, donde se solidifica al enfriarse. Está listo entónces para el mercado.

Procedimiento al vacío.—*Historia.*—La patente inglesa otorgada a John Reynolds el 16 de Julio de 1839, se referia a un procedimiento para mejorar la extraccion de la sal, «haciendo que el vapor producido por el agua salada hirviendo en un vaso cerrado, proporcionara su calor al agua salada contenida en un segundo vaso, cerrado de tal manera que el vapor producido allí pudiera a su vez utilizarse en un tercer depósito, i así sucesivamente; manteniendo en cada serie de vasijas cerradas una presion tal, que obligara al líquido contenido en ellas a hervir a una temperatura cada vez mas baja, desde el primero hasta el último recipiente; de manera que el vapor producido por el líquido en cada vasija se condensara en otra vasija de metal delgado sumerjida en el líquido del recipiente siguiente. Las graduaciones de presion podian obtenerse ya sea por disminucion de presion añadida a la de la atmósfera o por la disminucion de presion de la simple atmósfera solamente».

El principio de la evaporacion del múltiple efecto no parece, sin embargo, haberse iniciado en la evaporacion del agua salada para la extraccion de la sal. Un folleto publicado por la Zarembo Co., de Búffalo, Nueva York, dice que: «los tanques de vacío se usaron por primera vez en el año de 1813 en la forma de simple efecto, en la industria del azúcar. Estos de simple efecto comprendian un solo evaporador, formado por un elemento cerrado vaporizador, conectado con un condensador i bomba de aire. El elemento calentador consistia en serpentines sumerjidos en el líquido. Este se sujetaba a una sola ebullicion en un evaporador dado, de donde le vino el nombre

de simple efecto.» Aquí el rendimiento teórico era de una libra de agua evaporada por libra de vapor usado.

El segundo gran paso dado en el desarrollo de los evaporadores, tuvo lugar en 1830, cuando Rilleaux concibió la idea de la evaporacion de múltiple efecto, en la cual, como resultado de varias ebulliciones bajo grados variables de vacios, se aumentaba grandemente la cantidad de trabajo hecho por el vapor. Tuvo grandes dificultades para producir sus mejoras a un grado tal, que necesitó 30 años para implantar su uso jeneral en las fábricas europeas de azúcar.

Hasta donde se sabe, el primer tanque de vacío usado en los Estados Unidos para la manufactura de la sal, fué implantado por los hermanos José M. i Juan R. Duncan, en la primavera de 1885, en Warsaw, N. Y.

A fines de 1880, los hermanos Duncan fueron enviados por la American Dairy Salt Co., de Syracuse, Nueva York, para investigar la maquinaria usada en el Este para la estraccion de la sal. Los hermanos Duncan se interesaron principalmente en las centrifugas i secadoras de la industria azucarera, particularmente con referencia a su posible adaptacion para secar la sal que venia de las máquinas lavadoras entónces en uso. En aquella época toda la sal para la industria lechera se lavaba mecánicamente con una solucion de agua salada i ceniza de sosa para remover las impurezas.

Los hermanos Duncan se interesaron tambien grandemente en los tanques de vacío empleados en la fabricacion del azúcar; pero habiéndoseles informado que era imposible cristalizar la sal en ellos, abandonaron la idea por entónces, hasta que posteriormente se les ocurrió utilizar dichos tanques para la concentracion de las aguas débiles de la Onondaga Indian Reservation. De las investigaciones posteriores sobre el asunto se dedujo, como conclusion, que el proyecto no era practicable i fué abandonado.

En 1883, José M. Duncan dejó a Syracuse para encargarse como Jefe de la Warsaw Salt Co., donde instaló i trabajó una planta. Poco tiempo despues volvió a experimentar con los tanques de vacío, usando las aguas concentradas de la planta de Warsaw. Se construyó un tanque experimental de 4 piés de diámetro, segun el mismo tipo jeneral de los tanques de vacío que entónces se usaban. Se experimentaron muchas dificultades para la cristalicacion de la sal; pero al fin se logró el objeto perseguido i se obtuvo la primera sal por el procedimiento al vacío; mientras tanto ya se habian solicitado las patentes correspondientes.

Asociados de nuevo los hermanos Duncan, durante 1886 u 87, construyeron un tanque de vacío de siete piés de diámetro, i que fué el primero destinado comercialmente a la estraccion de la sal. Fué un éxito desde el principio, por lo que se refiere a la produccion; pero orijinaba grandes dificultades con la sal que se adheria a los tubos, lo que exijia su limpia casi constante i con gran costo; estos inconvenientes se fueron venciendo

gradualmente a medida que se fué conociendo mas el tratamiento del agua salada.

Su esperiencia los condujo a proyectar un tanque con los tubos en secciones, de manera que el vapor se usara en el interior de ellos i el agua salada en el exterior; este nuevo tipo dió mejores resultados, i podia ser limpiado mas fácilmente i tambien producía una sal granulada mucho mas dura. Sin embargo, el grano pequeño i duro de la sal hacia difícil la venta del producto, el cual recibía el nombre de sal musical, porque cuando estaba ya envasado, el producto producía un sonido musical al retorcer los paquetes, debido a la dureza de los cristales; éstos, aunque pequeños, eran cubos perfectos i su dureza i forma eran bien diferentes de la sal quebrada o molida que entónces había en el mercado.

Los hermanos Duncan fueron tambien los primeros en emplear el principio de las centrifugas para secar la sal. En su planta Silver Springs, el fondo de los tanques de vacío estaba construido por una serie de válvulas, de manera que podía llevarse la sal directamente del tanque a la centrifuga, sin la ayuda de ninguna otra maquinaria. Este método de producción dió al producto una reputación por su limpieza.

Caractéres del producto.—La sal producida por el procedimiento al vacío, tiene un lustre brillante i un grano mui igual, que la hacen adaptable para la mesa i la cremería. Los cristales tienen la forma cúbica casi perfecta i que distingue a la sal hecha al vacío de la de los otros procedimientos. El grano fino se debe principalmente a la rapidez con la cual cristaliza la sal i la rapidez de la cristalización depende del grado del vacío, cantidad de vapor, altura del líquido en el tanque i otros factores.

Principios del procedimiento al vacío.—El procedimiento al vacío en que se usan evaporadores de múltiple efecto, representa el adelanto en la industria de la sal; los aparatos usados en él son mas complicados que los de cualquiera otra fase de la industria. El principio fundamental del procedimiento es el descenso del punto de ebullición de un líquido que resulta de la disminución de presión de vapor sobre él. En la práctica nunca puede obtenerse el vacío completo de las cámaras; pero el vacío parcial, que es posible lograr, hace posible descender de una manera apreciable el punto de ebullición del agua salada i, por consiguiente, un ahorro efectivo de combustible.

Como el punto de ebullición de un líquido varia con la presión que soporta, se deduce que el arreglo de las presiones producirá los cambios correspondientes en el punto de ebullición i el cual puede fijarse arbitrariamente dentro de ciertos límites prácticos. El límite inferior se fija generalmente por el costo de producir el vacío i es mas o ménos, 125° F.; el límite superior se fija por la temperatura del vapor cuando es de escape i corresponde mas o ménos a 225° F.

Es incuestionable que con una cantidad dada de calor para la ebullición, se obtendrán mejores resultados en el vacío que bajo la presión atmosférica i que mientras mayor sea el vacío, mayor será el resultado que se obtenga con un número dado de unidades térmicas. Si el costo de mantener el vacío incluyendo el costo de la planta i su operación es menor que el valor del calor ganado, la evaporación del agua por el procedimiento al vacío es más económico que por el procedimiento en vaso abierto.

Con el procedimiento del vaso abierto, el vapor producido que contiene una considerable cantidad de unidades térmicas, se pierde enteramente; mientras que con el procedimiento al vacío en múltiple efecto, este calor del vapor es usado hasta su mayor límite. Un punto capital debe tenerse constantemente presente: es que, con el múltiple efecto, cada tanque trabaja no solamente como evaporador, sino también como una caldera productora de vapor para calentar el tanque siguiente i como condensador del inmediatamente anterior.

Construcción de aparatos.—Los tanques de vacío son generalmente cilindros verticales, con estremidades cónicas, contruidos de fierro o acero aun cuando hai un tanque en una planta contruido de cobre, fuertemente estañado en el interior; los detalles del dibujo indican su construcción. Los tanques se instalan: uno solo, en pares, en grupos de tres i en grupos de cuatro i con sus accesorios se designan con el nombre de «efectos»; así, un solo tanque es un simple efecto; dos tanques en serie, un doble efecto; tres tanques, un triple efecto, i cuatro tanques, un cuádruple efecto. La serie de dos o más tanques se designan en jeneral como un múltiple efecto. Los tanques menores de 9 piés de diámetro no se usan jeneralmente; la mayoría de ellos tienen un diámetro de diez o veinte piés i con la demanda constante de evaporadores de mayor tamaño, cada vez son más jenerales los tanques con diámetros de 20 piés. Recientemente se ha llegado a construir un tanque de 30 piés.

Los tanques de diez a veinte piés de diámetro tienen jeneralmente de 30 a 50 piés de punta a punta de los conos i exigen, por lo tanto, seis taladros en diferentes pisos. El cinturón de vapor está colocado en la parte cilíndrica del efecto; consiste en una corona formada por varios cientos de tubos verticales de cobre, de 5 piés de largo i 2 pulgadas de diámetro.

Molienda.—Las operaciones de molienda, que incidentalmente se ha mencionado, sólo se llevan a cabo en la preparación de las distintas clases de sal usadas para la mesa i la cremería. El carácter de los granos de estas sales se ve en la lámina adjunta. La sal debe permanecer en la pila de depósito hasta que esté completamente curada i mientras más tiempo se tenga en depósito, menor será el calor necesario para secarla completamente. Las centrífugas que se usan ahora en muchas instalaciones para

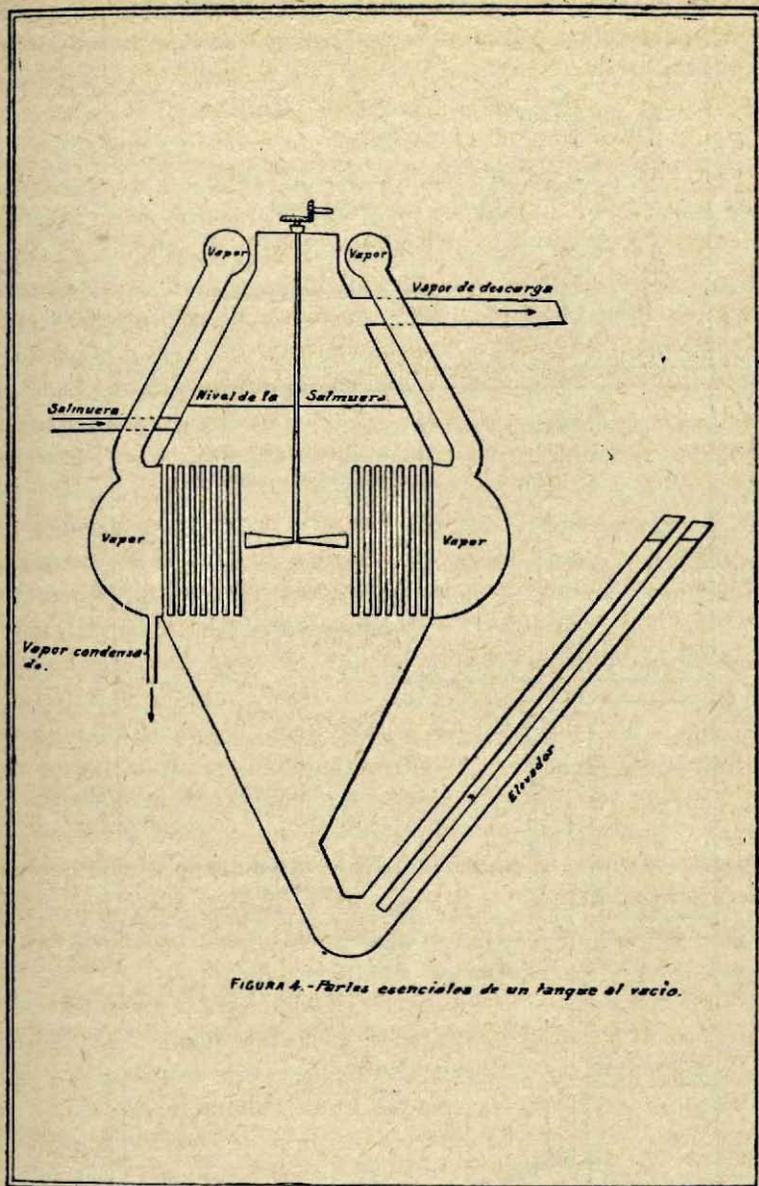


FIGURA 4.-Partes esenciales de un tanque al vacío.

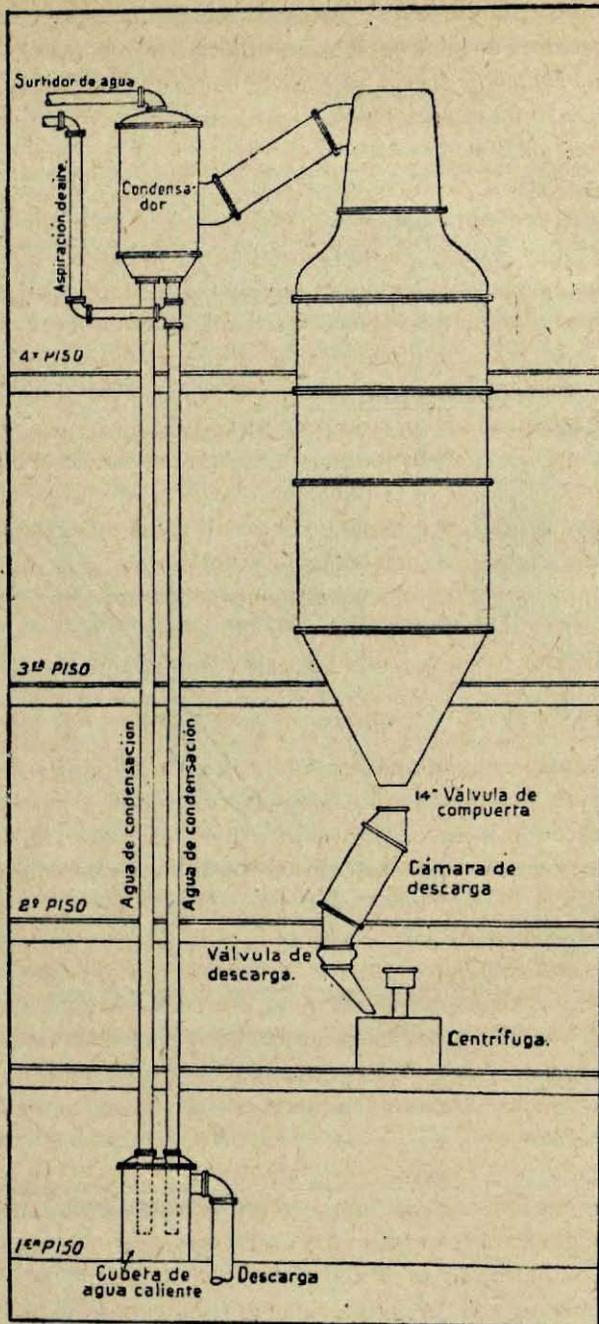


FIGURA 5.- Sección de tanque de vacío de simple efecto con válvula de compuerta y centrífuga en la base.
 Sección Técnica de Industrias.

remover de la sal el agua madre ántes de almacenarla, son mui eficaces i ahorran prácticamente la necesidad de drenaje subsecuente.

Cuando una sal mas gruesa que la obtenida por el procedimiento al vacío, se usa para la mesa i la cremería se requiere someterla a un quebrado preliminar. Antes de llevar a cabo esta operacion, hai que llevar la sal a los secadores, despues de haberla privado de la mayor cantidad posible de humedad, bien sea por medio de centrifugas o por su almacenamiento i drenaje en las pilas. Los secadores son cilindros jiratorios, que se mueven lentamente i tienen serpentines de vapor en su interior, o bien están protegidos por una chaqueta de vapor u otro medio cualquiera que permita calentar la sal a una alta temperatura durante su paso lento por la máquina. Algunos secadores están provistos, en la parte del frente, de un serpentín de vapor auxiliar i un soplador que inyecta aire caliente, que remueve las impurezas mas lijeras, principalmente yeso i humedad. Mucho cuidado. se debe tener para evitar que el polvo producido se disemine en la planta; éste se debe envasar despues de haberlo recojido en una cámara especial. Otro abanico en la parte posterior del secador ayuda a la eliminacion de yeso, polvo i humedad. La sal, una vez que ha pasado por el secador, no debe contener mas que 0.1 por ciento de humedad.

Del secador pasa la sal por una serie de zarandas que separan los trozo grandes i hacen la clasificacion por tamaños, los que se van depositando en tolvas especiales, para de allí llevarse a los depósitos. En algunos molinos se hace pasar la sal por máquinas pesadoras i despues a envases especiales en los que se libra al consumo. En algunas marcas de sal para mesa, con objeto de hacerlas a prueba de humedad i quede siempre tan suelta como sea posible, se le pone una pequeña cantidad—no mayor de uno por ciento—de alguna sustancia no hidroscópica, como el carbonato de magnesio.

El esfuerzo perseguido en los procedimientos mas perfeccionados de las modernas instalaciones, es obtener todas las ventajas de los mecanismos que ahorren el trabajo manual. La sal se maneja a mano lo ménos posible, adoptando, siempre que sea practicable, el uso de conductores i elevadores de diversos tipos, etc. Los detalles de la manipulacion final son tan diversos en los Estados Unidos, que sólo se ha hablado de ellos en términos jenerales.

Sal combinada.—La mayor parte de la sal obtenida por el procedimiento de cristalizadores, tiene una textura suave, i lisa i brillante, por mas que su carácter varia con la temperatura i por lo tanto, con la relacion de la evaporacion usada para obtenerla. Si se mantiene una presion de vapor suficientemente alta, se produce una ebullicion rápida i se obtiene una sal granular. Si la temperatura es baja, entónces la evaporacion se verifica principalmente en la superficie del líquido i la sal resulta esponjosa; en otros términos, miéntras menor es la rapidez de la cristalizacion,

es mas grueso el grano de la sal. Como la sal de cristalizadores tiene mucha demanda en razon de ciertas características i hai que obtenerla de una manera lenta, tiene necesariamente un precio comparativamente alto. La sal producida por el procedimiento al vacío, es granulada i de grano fino. La sal «combinada», como lo indica su nombre, es un producto formado por la combinacion de la sal obtenida por los dos procedimientos.

En el procedimiento para obtener la sal combinada, inventado por Lillie, el agua salada es evaporada en tanques de vacío de la manera usual i los cristales de sal que se forman se depositan en la parte inferior de la cámara cónica, situada debajo de los tubos de vapor. Por una cañería i bajo presión, se hace pasar entónces la sal del líquido a cristalizadores en trabajo. La sal del tanque de vacío al ser llevada al cristalizador, se va al fondo en la parte posterior, de donde se mueve hácia adelante por métodos mecánicos ordinarios. La sal producida en cristalizadores, se deposita también en el fondo i en contacto con la sal granulada. A medida que la sal granulada se mueve hácia adelante en el cristalizador, queda sujeta a la acción de la salmuera caliente i de la sal gruesa, de lo que resulta un grano combinado con caracteres enteramente diferentes de los dos que le han dado origen. Las partículas de sal sólida ofrecen probablemente centros de cristalización en la salmuera caliente. El producto no es simplemente una mezcla de cristales de diferente textura, sino que tiene la suya peculiar i uniforme. La identidad de la sal fina i el procedimiento al vacío, casi se pierde i el producto se asemeja por su aspecto físico a la sal obtenida en vaso abierto o en cristalizador. El carácter de la sal combinada puede variarse, combinando las proporciones de las sales componentes, i también pueden obtenerse diferentes clases de sal, variando las distintas fases en el cristalizado.

CONSIDERACIONES COMERCIALES SOBRE LOS DISTINTOS PROCEDIMIENTOS

El desgaste inevitable en el trabajo de la maquinaria para la extracción de la sal es muy fuerte; mas aún, si una instalación se abandona durante un año, queda prácticamente arruinada; por consiguiente, es a menudo mucho mas barato extraer la sal una temporada sin provecho alguno, que paralizar la instalación.

A propósito de este rápido deterioro, merecen una cuidadosa consideración los conceptos siguientes de la carta que dirigió al autor un industrial del Norte de Ohio, práctico en la materia.

Otra dificultad en fijar el costo de ésta: que al calcular los costos i fijan sobre ellos el precio de venta, muchos productores no tienen en cuenta

el rápido deterioro de los aparatos empleados i desgraciadamente, debido a esto i a la sobreproduccion, muchos cientos de miles de dólares han perdido los productores en los últimos diez años.

El factor de la sobreproduccion es uno de honda meditacion para los productores de sal en los Estados Unidos. Durante los trabajos del autor en las diversas rejiones del pais, pero principalmente en los Estados Orientales, en 1911-12, el sentir jeneral era que se estaba produciendo mucha mas sal de la que podia venderse, estimándose esta sobreproduccion desde 20 hasta 50 por ciento. El hecho de que muchas instalaciones completamente modernas i con todos los adelantos, no trabajen a toda su capacidad; que otras solo trabajen la mitad del tiempo o a media capacidad i que otras estén paralizadas, en espera de mejores tiempos, dan una idea mui significativa de la situacion para los que intenten dedicarse a ese negocio. Segun un productor: «Si la demanda fuera doble de la actual (Setiembre 15-1911), habria ámplia capacidad en los Estados Unidos, no sólo para cubrirla, sino para disponer siempre de un fuerte excedente a mano.» Este producto probablemente se referia a la mitad Oriental de los Estados Unidos, i la planta con la que él tenia relaciones estaba trabajando a media capacidad. Una situacion semejante existia hace cosa de 30 años, porque en 1880 decia Chatard: «Las instalaciones actuales son suficientes para cubrir una demanda mucho mas grande que la que puede encontrar un consumo remunerador.» El informe que describió con respecto a este asunto, comienza con las siguientes consideraciones:

«Los varios elementos que deben figurar para el costo de un artículo de comercio, se encuentran espresados de la manera mas clara i sencilla en la industria de la sal. La materia prima, agua salada, no tiene otro valor que el que resulta de la apertura de los pozos i del bombeo; el combustible usado es de desperdicio hasta donde es posible; la maquinaria es de lo mas sencilla, con poca oportunidad para el uso de mecanismos que ahorren el trabajo manual; éste, en su mayoría, es del que requiere poco cuidado i el manejo, trasporte i distribucion del producto, se hacen de la manera mas barata; el artículo extranjero que viene jeneralmente como lastre, tiene que venderse a un precio apenas superior a éste en los puertos de embarque.»

Grandes cambios se han verificado en la industria de la sal durante los 25 años, i es interesante comparar la situacion actual (1915), con la que existia en la época del escrito de Chatard. *Sigue siendo aun cierto que el agua salada no tiene otro valor que el que resulta de la perforacion del pozo i del bombeo.* Pero esta sal sólo representa el 78 por ciento del total de sal producida, como obsérvase en la siguiente tabla, i es considerable el 22 por ciento restante, que representa el trabajo preliminar relacionado con la explotacion minera.

PRODUCCION I VALOR DE LA SAL JEMA I ESTRAIDA DE AGUAS SALADAS, EN
ESTADOS UNIDOS EN 1915

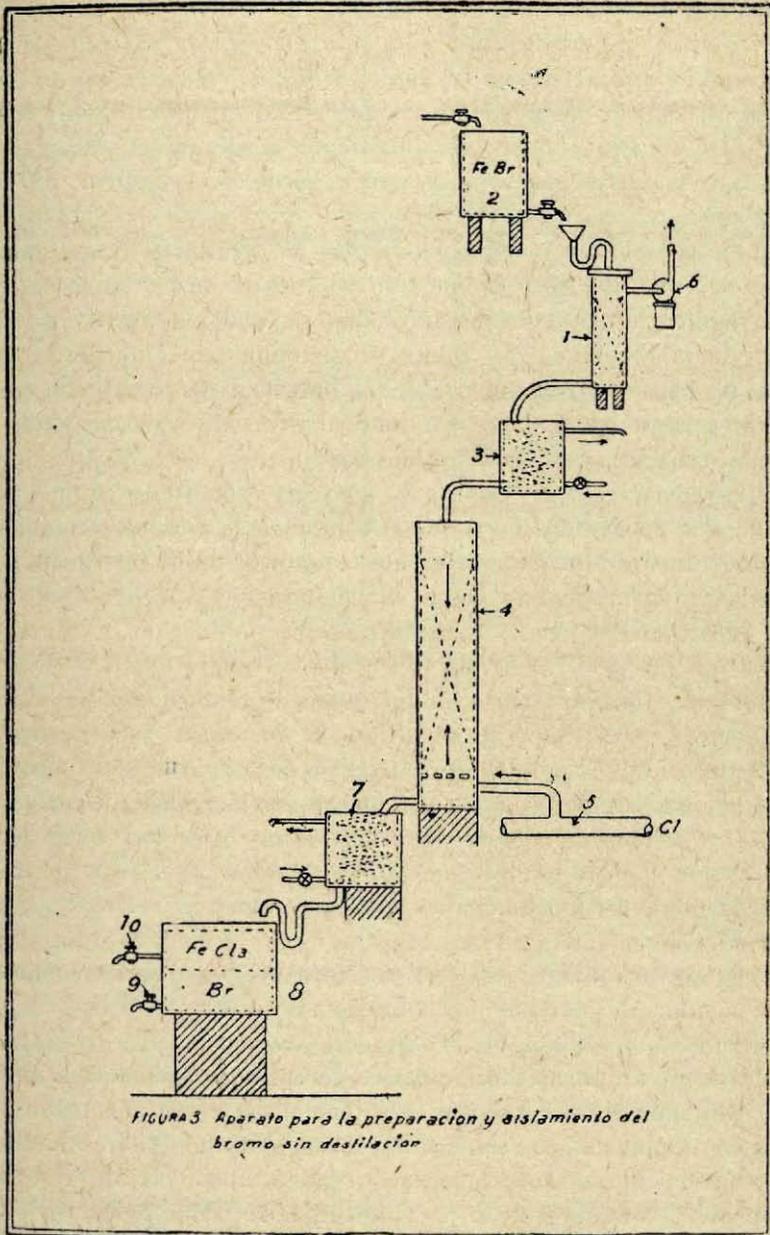
Material	Toneladas de 2000 libras	Valor en dólares
Sal Jema.....	1.165,387	2.299,894
Sal de agua salada.....	4.187,023	9.447,792
Total.....	5.352,410	11.747,686

En contraste con las consideraciones de Chatard, relativas al uso de combustible de desperdicio, figura el siguiente comentario de Villicox: «Se está verificando actualmente en la industria de la sal, especialmente en Michigan, un cambio casi tan radical como el experimentado cuando la industria maderera de Michigan dió nacimiento a la de la sal. Es el cambio del sistema primitivo, en el cual no tenia objeto la economía de combustible, a la época actual, en que el combustible es la consideracion principal. Para ilustrar lo que este cambio significa, basta referirse a los dias en que la rejion productora de sal de Onondaga, N. Y., era el centro productor principal del pais. Cuando la enorme produccion de Michigan comenzó a afectar a los Distritos Orientales, el golpe recibido en la rejion de Onondaga, fué mui fuerte, como se puede deducir del informe publicado en 1887, por el Superintendente de la Onondaga Salt Springs:

«El negocio de la manufactura de la sal en la última temporada ha sido uno de los mas difíciles, debido a la depresion jeneral del negocio en todo el pais, i a la consiguiente baja en los precios ofrecidos por el producto manufacturado; un resultado que siempre se verifica en cualquier artículo, cuando la oferta es mucho mayor que la demanda.

Otro inconveniente, i tal vez el mas serio, proviene de la gran produccion de sal de las salinas de Saginaw. Estos trabajos son, i muchos años continuarán siendo, un fuerte competidor de los nuestros.

En tanto que Saginaw sea el gran centro de una jigantesca industria maderera, será tambien el principal competidor de la industria de la sal. Los desperdicios de los aserraderos se calcula que son suficientes para la produccion actual de doce millones de bushels de sal, i durante el año pasado su produccion alcanzó la enorme cifra de 8.000,000 de bushels. Este desperdicio de los aserraderos no sirve absolutamente para otra cosa que no sea como combustible para la manufactura de la sal; de hecho es un perjuicio para los negociantes de madera, porque los obliga a pagar por su acarreo i destruccion. Esto proporciona a Saginaw, sin costo alguno, lo que para nosotros es el factor principal en el estado del producto.»



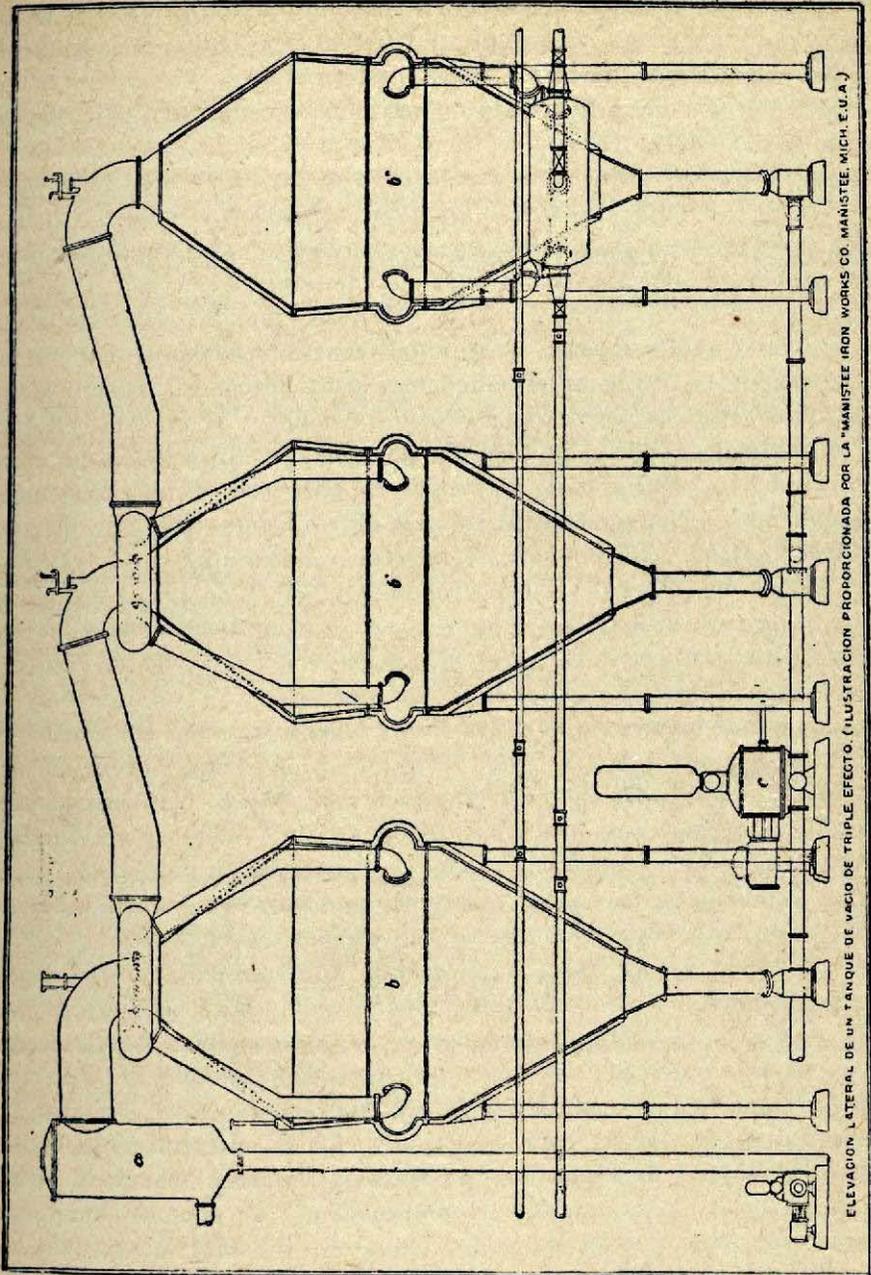
En la clase de maquinaria, la calidad del trabajo manual i el uso de mecanismos, tambien se han verificado cambios profundos desde la fecha del comentario de Chatard.

El notable desarrollo de los cristalizadores con rastrillos mecánicos i el procedimiento al vacío, son indicios de los adelantos a este respecto. En algunas de las instalaciones modernas de cristalizadores i de vacío, la sal no se maneja a mano, absolutamente, desde que cristaliza el líquido hasta que está lista para embarcarse a bordo de los carros. El carácter del trabajo, en vez de haber permanecido puramente manual, ha sufrido un cambio completo a medida del empleo de maquinaria mas complicada, al grado de que una gran proporcion del trabajo en las modernas instalaciones, requiere un cuidado mecánico del tipo mas avanzado i son frecuentemente necesitados los servicios de peritos químicos. Todas estas mejoras, tienden necesariamente a un mayor rendimiento i la produccion de un artículo de primera clase a un precio tan bajo, como es compatible con la demanda existente para una buena clase.

Separacion del yeso.—Una de las mayores dificultades en la estraccion de la sal, es la separacion del yeso. En la práctica se designa con este nombre las incrustaciones formadas durante la concentracion de las aguas. El autor no está seguro de que se conozca la composicion exacta de las incrustaciones; pueden corresponder a la del $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Chatard propuso varios métodos para su separacion, i en la mayoría de las instalaciones se emplea aun el antiguo procedimiento de suspender la produccion i remover la incrustacion de yeso. Una de las razones para continuarse con un método tan laborioso, es que cualquier tratamiento químico que efectivamente separe la cal, magnesio, sulfato de calcio i óxido de fierro, es demasiado costoso i se limita para la estraccion de la sal de primera clase. La cal se usa casi universalmente para separar el fierro, aunque en algunas localidades se emplea tambien el carbonato de sodio (ceniza de sosa).

En el procedimiento Alberger se sigue el principio de sobrecalentar el agua a una gran presion i disminucion de ésta para lograr la precipitacion del yeso. Esto está de acuerdo con las indicaciones de Chatard, de que: «a falta de un precipitante químico, habrá que considerar la aplicacion del calor solamente para dar una idea jeneral del perfeccionamiento.» Chatard llamó tambien la atencion sobre la separacion rápida del sulfato de calcio cerca del punto de saturacion i a temperaturas superiores a 212°F ., i recomendó que la separacion del sulfato i la recristalizacion de la sal deberia ser, siempre que fuera practicable, por procedimientos separados i que los aparatos que se usaran para el primero debian construirse especialmente para facilitar la incrustacion. No está perfectamente dilucidado si la separacion del yeso de esta manera es mas efectiva i barata que su



ELEVACION LATERAL DE UN TANQUE DE VACIO DE TRIPLE EFECTO. (ILUSTRACION PROPORCIONADA POR LA "MANISTEE IRON WORKS CO. MANISTEE, MICH. E.U.A.")

remocion por precipitacion ordinaria en el fondo del tanque abierto, en las tuberías o en los fluxes del tanque de vacío, con el trabajo consiguiente i pérdida de tiempo inevitable de la desincrustacion. El procedimiento Alberger es de uso limitado, si se le compara con otros métodos para obtener sal fina número uno.

RENDIMIENTO RELATIVO DE LOS DIVERSOS PROCEDIMIENTOS

Mui poco, relativamente, se ha publicado con relacion al rendimiento i economía de los diversos procedimientos para estraer sal. Segun Merril, un block de evaporacion puede producir 2,500 libras de sal de un líquido de 67° (salímetro), por cada tonelada de polvo de antracita usada como combustible, i 4,088 libras de un líquido de 96°; estas cifras corresponden a rendimiento de evaporacion de 5.83 i 6 libras de agua por libra de combustible. Chatard, seleccionando los mejores resultados de varios sistemas, concluye que una libra de carbon evapora 5.52 libras de agua en el procedimiento de vaso abierto con fuego directo, 6.47 libras de agua en cristalizador de alta presion i 7.69 libras de agua en cristalizador de baja presion. Willcox calcula que los resultados de una operacion cuidadosa en un cristalizador de Michigan, son de 8.322 lb. de agua avaporada por cada libra de carbon. Sin embargo, son tantos los factores que afectan al rendimiento, que las cifras señaladas no son suficientemente seguras para una comparacion. La concentracion i composicion del agua salada, la naturaleza i poder calorifico del combustible usado, las condiciones atmosféricas i otras muchas condiciones, hacen el análisis del problema mui difícil. Facilidad de operacion, bajo costo de conservacion, sencillez de construccion i medios para subsanar i vencer las dificultades que se presenten, son los factores principales que dan a un evaporador el mejor rendimiento. El autor intentó tener nuevos datos sobre el costo unitario de la estraccion de sal; fueron tan pocas i tan diversas las contestaciones recibidas, que fué impracticable su compilacion i comparacion i por consiguiente, esta fase de la industria hubo que dejarla para su consideracion en el futuro. Los experimentos de Willcox, a los cuales mas ántes se ha hecho referencia, representan un análisis tan estenso del procedimiento de cristalizadores, que ha sido extractado el informe de los resultados obtenidos. Las pruebas se hicieron en Michigan bajo condiciones normales de trabajo, con un cristalizador provisto de rastrillos mecánicos sumerjidos, calentado por vapor de escape con una temperatura media de 216.6° F. i una calidad media de 97 por ciento. El cristalizador tenía 143 piés de largo i 10.67 piés de ancho en el nivel medio i se llenaba con agua a una profundidad media

a 1.229 piés; contenia 10,072 piés de tubería de 3.5 pulgadas; la relacion de la superficie evaporante (cristalizador), a la superficie de calentamiento era de 1.34. El líquido con una saturacion de 92.5 por ciento pasó al cristalizador con una temperatura de 71°.06 F., i la prueba se continuó por 192 horas, al final de cuyo tiempo la saturacion del líquido impedia ya la evaporacion. En un principio, la evaporacion se continuaba hasta que el nivel del líquido bajaba a los tubos de vapor; la cantidad evaporada era reemplazada con líquido nuevo i este método de evaporacion i carga alterna se continuó durante toda la esperiencia. Los resultados de ella constan en las siguientes tablas:

RESULTADOS DEL TRABAJO DE UN CRISTALIZADOR EN MICHIGAN,
DURANTE 192 HORAS

Asunto	Libra
Produccion total de sal.....	110,950
Produccion de sal por hora.....	577.8
Equivalente de sal curada i empacada por hora.....	534.5
Total condensacion de agua de serpiente del cristalizador....	410,368
Condensacion por hora.....	2,137
Condensacion equivalente de vapor seco por hora.....	2,073
Produccion de sal por pié cuadrado de superficie del cristalizador.....	72.7
Produccion de sal por pié cuadrado por superficie de calentamiento.....	97.9
Produccion de sal por pié lineal de cañería de 3.5 pulgadas....	102.5
Produccion de sal por pié cúbico de líquido.....	13.46
Condensacion de vapor seco por pié cúbico de líquido.....	46.8

VOLUMEN DE VAPOR CONDENSADO I CANTIDAD DE SAL, PRODUCIDA DURANTE PERÍODOS SUCESIVOS DE PRODUCCION APROXIMADAMENTE UNIFORME.

Duracion del período	Cantidad total		Cantidad por hora		Vapor necesario para producir una libra de sal caliente
	Sal	Vapor condensado	Sal	Vapor condensado	
	Horas	Libras	Libras	Libras	Libras
9	(a)	26,320	...	2,924
37	29,297	91,354	684	2,466	3,605
53	32,966	110,570	623	2,086	3,348
17.5	11,783	39,296	673	2,245	3,336
34.5	20,896	69,286	605	2,008	3,01
4	2,468	7,594	617	1,898	3,076
24	10,640	45,452	443	1,477	3,18
13	6,900	24,040	531	1,849	3.49
192	114,950	414,012

(a) La produccion es bastante solamente para llenar los vacios en el fondo del cristalizador.

Willcox estima que el rendimiento representado por estas cifras corresponde aproximadamente a la evaporacion de 8.322 libras de agua por una libra de carbon. Dice ademas, que en la práctica usual de este cristalizador, el líquido evaporado se reemplaza con líquido nuevo cada 5 dias, perdiéndose 2 horas para cada llenada i que se requieren los servicios de 4 hombres durante 3 horas para desincrustar los tubos cada 30 dias.

ANÁLISIS DE SALMUERAS DE AGUA DE MAR

Muestras recojidas por E.E. Free en 1912; R. F. Gardiner, Ensayador

RADICALES EN GRAMOS POR LITRO

COMPONENTES	MUESTRA NÚMERO							
	1	2	3	4	5	6	7	a 8
K.....	8.2	13.4	13.2	14.6	21.5	35.0	11.8	0.7
Na.....	80.0	75.8	38.8	27.7	9.1	93.6	60.1	61.0
Ca.....	1.2	2.2	6	5	1.0	2	1.1	vestijios
Mg.....	24.0	23.4	50.6	62.7	79.4	8.6	43.9	24.8
Cl.....	179.2	176.6	179.4	183.3	220.1	180.4	190.8	148.5
SO ₄	30.0	31.4	53.6	74.2	62.0	29.0	55.8	34.1
Br.....	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.8
	325.6	325.8	339.2	366.0	395.1	348.8	366.3	269.1

ORIJEN DE LAS MUESTRAS

- 1.—Leslie Salt Refining Works, San Mateo, Cal. Muestra representativa tomada cerca de la esquina Noroeste del depósito de Agua Madre.
- 2.—Leslie Salt Refining Works, San Mateo, Cal.—De la esquina Sureste del depósito de Agua Madre.
- 3.—Leslie Salt Refining, San Mateo, Cal.—Del depósito de cristalización, en el cual se ha formado la sal durante el verano.
- 4.—Oliver Salt Works Mount Eden, Cal.—Del tanque de depósito después de 5 años de acumulación.
- 5.—Oliver Salt Works Mount Eden, Cal.—Agua Madre que había sido sujeta a un tratamiento especial.
- 6.—California Salt Co. Alvarado, Cal.—Del tanque de depósito, después de 3 años de acumulación, aunque cantidades considerables que habían desechado i pequeñas cantidades de otros líquidos de desecho habían sido añadidas.
- 7.—Pioneer Salt Co., San Francisco, Cal.—Un año de acumulación.
- 8.—Long Beach Salt Co. Long Beach, Cal.—Salmuera concentrada anormalmente en un tanque especial, 1912.—R. H. Dailey, Ensayador

SOLUBILIDAD DE ALGUNAS SALES

S A L	Temperatura °C	Cantidad de compuesto puro sin agua de cristalización, disuelto en 100 gr. de agua gramos
Cloruro de sodio (ClNa).....	0	35.7
	10	35.8
	25	36.12
	50	37.0
	100	39.8
Sulfato de sodio (SO ⁴ Na ² -10 H ² O).....	0	5.0
	25	28.0
Sulfato de sodio (SO ⁴ Na ² -7 H ² O).....	0	19.5
	25	53.0
Bromuro de sodio (BrNa).....	0	66.0
	20	77.0
Yoduro de sodio (INa ² H ² O).....	0	158.7
	25	134.12
Cloruro de potasio (ClK).....	0	27.6
	25	35.5
Sulfato de potasio (SO ⁴ K ²).....	0	7.35
	25	10.75
Bromuro de potasio (BrK).....	0	53.5
	25	67.7
Yoduro de potasio (IK).....	0	127.5
	25	148.0
Cloruro de calcio (Cl ² Ca. 6 H ² O).....	0	59.5
	20	91.0
Sulfato de magnesio (SO ⁴ Mg. 7 H ² O).....	0	26.9
	25	38.5
Cloruro de magnesio (Cl ² Mg. 6 H ² O).....	0	52.8
	25	56.7
Bromuro de magnesio (Br ² Mg. 6 H ² O).....	0	91.9
	25	97.6

CONTENIDO DE CLORO, SALINIDAD I GRAVEDAD ESPECÍFICA
DEL AGUA DE MAR A DISTINTAS CONCENTRACIONES (a)

Cloro por kgs Gramos	Salinidad por kilo gramos	Gravedad especi- fica (o/4°)	Cloro por kgs. gramos	Salinidad por kilo gramos	Gravedad especi- fica (o/4°)
1.00	1.34	1.00140	19.60	35.41	1.02846
2.00	3.64	1.00287	19.65	35.50	1.02853
3.00	5.45	1.00433	19.70	35.59	1.02860
4.00	7.25	1.00579	19.75	35.68	1.02867
5.00	9.65	1.00725	19.80	35.77	1.02875
6.00	10.86	1.00871	19.85	35.86	1.02882
7.00	12.67	1.01016	19.90	35.95	1.02889
8.00	14.47	1.01162	19.95	36.04	1.02896
9.00	16.28	1.01307	20.00	36.13	1.02904
10.00	18.28	1.01402	20.10	36.31	1.02918
11.00	19.89	1.01797	20.20	36.49	1.02933
12.00	21.69	1.01742	20.30	36.67	1.02947
13.00	23.50	1.01877	20.40	36.85	1.02962
14.00	25.30	1.02032	20.50	37.03	1.02977
15.00	27.11	1.02177	20.60	37.21	1.02991
16.00	28.91	1.02822	20.70	37.39	1.03006
17.00	30.72	1.02468	20.80	37.57	1.03020
18.00	32.50	1.02613	20.90	37.75	1.03035
19.00	34.33	1.02758	21.00	37.94	1.03049
19.10	34.51	1.02773	21.50	38.84	1.03122
19.20	34.69	1.02787	22.00	39.74	1.03195
19.30	34.87	1.02802	22.50	40.63	1.03268
19.40	35.05	1.02816	23.00	41.55	1.03341
19.50	35.23	1.02831			

TABLA DE CONVERSION PARA SOLUCIONES SALINAS

Grados salimétricos	Grados Baumé	Gravedad específica	Por ciento de sal	Peso de un galon de esta salmuera en libras de 7,000 gramos	Libras de sal en un galon de salmuera de 231 pulgadas cúbicas	Galones de salmuera necesarios para un bushel de sal	Libras de agua por evaporar para obtener un bushel de sal	Lbs. carbon bush. de sal. Una libra de carbon evaporando 6 libras de agua	Bushel de sal que pueden obtenerse con una tonelada de carbon, (2,000 libras)
1	0.26	1.002	0.265	8.347	0.022	2,531.40	21,076.00	3,512.67	0.569
2	0.52	1.003	.530	8.356	.044	1,264.40	10,510.00	1,751.67	1.141
3	.78	1.005	.795	8.372	.066	841.30	6,988.02	1,164.67	1.717
4	1.64	1.007	1.060	8.389	.088	629.72	6,227.03	871.17	2.2
5	1.30	1.009	1.325	8.406	.111	502.77	4,170.41	695.06	2.877
6	1.56	1.010	1.598	8.414	.133	418.56	3,466.01	577.66	3.462
7	1.82	1.012	1.855	8.431	.156	358.06	2,962.87	493.81	4.050
8	2.08	1.014	2.120	8.447	.179	312.68	2,585.50	430.91	4.641
9	2.34	1.016	2.385	8.462	.201	277.39	2,292.00	382.00	5.235
10	2.66	1.017	2.650	8.472	.224	249.41	2,057.20	342.86	5.833
11	2.86	1.019	2.915	8.489	.247	226.29	1,865.09	310.84	6.434

(a) Mnuksen, Martin, Hydrographische Tabellen Copenhagen 1911.

	Grados salimétricos	Grados Beaumé	Gravedad específica	Por ciento de sal	Peso de un galon de esta salmuera en libras de 7,000 granos	Libras de sal en un galon de salmuera de 231 pulgadas cúbicas	Galones de salmuera necesarios para un bushel de sal	Libras de agua por evaporar para obtener un bushel de sal	Libras de carbon necesarias para producir un bushel de sal. Una libra de carbon evaporando 6 libras de agua	Bushels de sal que pueden obtenerse con una tonelada de carbon, 2,000 libras)
12	3.12	1.021	3.180	8.506	.270	207.02	1,705.00	284.16	7.038	
13	3.38	1.023	3.445	8.522	.293	190.72	1,569.54	261.59	7.645	
14	3.64	1.025	3.710	8.539	.316	176.76	1,453.43	242.23	8.256	
15	3.90	1.026	3.975	8.547	.339	164.81	1,352.80	225.46	8.370	
16	4.16	1.028	4.240	8.564	.363	154.21	1,264.75	210.59	9.488	
17	4.42	1.030	4.505	8.581	.386	144.36	1,187.06	197.84	10.108	
18	4.68	1.032	4.770	8.597	.410	138.54	1,118.00	186.33	10.733	
19	4.94	1.034	5.035	8.614	.433	129.11	1,056.21	176.03	11.361	
20	5.20	1.035	5.300	8.622	.457	122.53	1,000.60	166.76	11.992	
21	5.46	1.037	5.565	8.639	.480	116.47	950.28	158.38	12.627	
22	5.72	1.039	5.830	8.656	.504	110.96	904.54	150.75	13.266	
23	5.98	1.041	6.095	8.672	.528	105.93	862.78	143.79	13.96	
24	6.24	1.043	6.360	8.689	.552	101.33	820.50	137.41	14.554	
25	6.50	1.045	6.625	8.706	.576	97.09	789.28	131.54	15.203	
26	6.76	1.046	6.390	8.390	.600	93.26	756.77	126.12	15.856	
27	7.02	1.048	7.155	8.731	.624	89.64	726.66	121.11	16.513	
28	7.28	1.050	7.420	8.747	.649	86.27	698.71	116.45	17.173	
29	7.54	1.052	7.635	8.764	.673	83.14	672.69	112.11	17.838	
30	7.80	1.054	7.950	8.781	.698	80.21	648.40	108.06	18.506	
31	8.06	1.056	8.215	8.797	.722	77.48	625.67	104.27	19.179	
32	8.32	1.058	8.480	8.814	.747	74.92	604.37	100.72	19.855	
33	8.88	1.059	8.745	8.822	.771	72.58	584.36	97.39	20.535	
34	8.84	1.061	9.010	8.839	.796	70.31	565.53	94.25	21.218	
35	9.10	1.063	9.275	8.856	.821	68.17	547.77	91.29	21.906	
36	9.36	1.065	9.540	8.872	.846	66.15	531.00	88.50	22.598	
37	9.62	1.067	9.805	8.889	.871	64.24	515.13	85.85	23.294	
38	9.88	1.069	10.070	8.905	.896	62.44	500.10	83.35	23.983	
39	10.14	1.071	10.335	8.922	.922	60.72	485.84	80.97	24.699	
40	10.40	1.073	10.600	8.939	.947	59.09	472.30	78.71	25.407	
41	10.66	1.075	10.865	8.955	.973	57.34	459.41	76.56	26.129	
42	10.92	1.077	11.130	8.972	.998	56.07	447.14	74.52	26.83	
43	11.18	1.079	11.395	8.989	1.024	54.66	435.44	72.57	27.558	
44	11.44	1.081	11.660	9.005	1.050	53.32	424.27	70.71	28.283	
45	11.70	1.083	11.925	9.022	1.075	52.04	413.60	68.93	29.013	
46	11.96	1.085	12.190	9.039	1.101	50.82	403.39	67.23	29.747	
47	12.22	1.087	12.455	9.055	1.127	49.64	393.61	65.60	30.486	
48	12.48	1.089	12.720	9.072	1.154	48.52	384.25	64.04	31.229	
49	12.74	1.091	12.985	9.089	1.180	47.44	375.26	62.54	31.877	
50	13.00	1.093	13.250	9.105	1.206	46.41	366.64	61.10	32.729	
51	13.26	1.095	13.515	9.122	1.232	45.42	358.35	59.72	33.477	
52	1352.	1.097	13.780	9.139	1.259	44.46	350.38	58.39	34.247	
53	13.78	1.100	14.045	9.164	1.287	43.50	342.71	59.11	35.015	
54	14.04	1.102	14.310	9.180	1.313	42.62	335.35	55.89	35.783	
55	14.30	1.104	14.575	9.197	1.340	41.77	328.21	54.70	36.560	
56	14.56	1.106	14.840	9.214	1.367	40.95	321.35	53.55	37.341	
57	14.82	1.108	15.105	9.230	1.394	40.16	314.74	52.45	38.126	
58	14.08	1.110	15.370	9.247	1.421	39.39	308.34	51.39	38.917	

	Grados salimétricos	Grados Beaumé	Gravedad específica	Por ciento de sal	Peso de un galon de esta salmuera en libras de 7,000 granos	Libras de sal en un galon de salmuera, de 231 pulgadas cúbicas	Galones de salmuera necesarios para un bushel de sal	Libras de agua por evaporar para obtener un bushel de sal	Libras de carbon necesarias para producir un bushel de sal. Una libra de carbon evaporando 6 libras de agua	Bushel de sal que pueden obtenerse con una tonelada de carbon, 2,000 libras)
59	15.34	1.112	15.635	9.264	1.448	38.66	302.17	50.36	39.712	
60	15.69	1.114	15.900	9.280	1.475	37.94	296.21	49.36	40.512	
61	15.86	1.116	16.165	9.297	1.502	37.26	280.43	48.40	41.317	
62	16.12	1.118	16.430	9.314	1.530	36.59	284.84	47.47	42. W9	
63	16.38	1.121	16.695	9.339	1.559	35.91	279.42	46.57	42.945	
64	16.64	1.123	16.960	9.355	1.586	35.29	274.18	45.69	43.765	
65	16.90	1.125	17.225	9.372	1.614	34.68	269.10	44.85	44.591	
66	17.16	1.127	17.490	9.389	1.642	34.10	264.18	44.03	45.423	
67	17.42	1.129	17.755	9.405	1.670	33.53	259.40	43.23	46.260	
68	17.68	1.131	18.020	9.422	1.697	32.98	254.76	42.46	47.102	
69	17.94	1.133	18.285	9.439	1.725	32.44	250.26	41.71	47.949	
70	18.20	1.136	18.550	9.464	1.755	31.89	245.88	40.98	48.802	
71	18.46	1.138	18.815	9.480	1.783	31.39	241.63	40.27	49.662	
72	18.72	1.140	19.080	9.497	1.812	30.90	237.50	39.58	50.526	
73	18.98	1.142	19.345	9.514	1.840	30.42	233.47	38.91	51.397	
74	19.24	1.144	19.610	9.530	1.868	29.96	229.56	38.26	52.272	
75	19.50	1.147	19.785	9.555	1.899	29.48	225.76	37.62	53.153	
76	19.76	1.149	20.140	9.572	1.927	29.04	222.05	37.00	54.041	
77	20.02	1.151	20.405	9.580	1.956	28.62	218.44	36.40	54.934	
78	20.28	1.154	20.670	9.614	1.987	28.17	214.92	35.82	55.834	
79	20.54	1.156	20.935	9.630	2.016	27.77	211.49	35.24	56.739	
80	20.80	1.158	21.200	9.647	2.045	27.38	208.14	34.69	57.650	
81	21.06	1.160	21.465	9.664	2.074	26.99	205.88	34.14	58.568	
82	21.32	1.163	21.730	9.689	2.105	26.59	201.70	33.61	59.471	
83	21.58	1.165	21.995	9.705	2.134	26.23	198.60	33.10	60.421	
84	21.84	1.167	22.260	9.722	2.164	25.87	195.57	32.59	61.350	
85	22.10	1.170	22.525	9.947	2.195	25.50	192.61	32.10	62.301	
86	22.36	1.172	22.790	9.764	2.225	25.16	189.72	31.62	63.250	
87	22.62	1.175	23.055	9.780	2.256	24.81	186.89	31.14	64.206	
88	22.33	1.177	23.320	9.805	2.286	24.48	184.13	30.68	65.188	
89	23.14	1.179	23.535	9.822	2.316	24.17	181.44	30.24	66.137	
90	23.40	1.182	23.850	9.847	2.348	23.84	178.39	29.80	67.113	
91	23.66	1.184	24.115	9.864	2.378	23.54	176.22	29.37	68.096	
92	23.92	1.186	24.360	9.880	2.403	23.24	173.69	28.94	69.085	
93	24.13	1.189	24.645	9.905	2.441	22.93	171.22	28.53	70.086	
94	24.44	1.191	24.910	9.922	2.471	22.65	168.80	28.13	71.086	
95	24.70	1.194	25.175	9.947	2.504	22.35	166.44	27.73	72.105	
96	24.96	1.196	25.440	9.964	2.534	22.00	164.12	27.35	73.114	
97	25.22	1.198	25.705	9.980	2.565	21.82	161.85	26.97	74.140	
98	25.48	1.201	25.970	10.005	2.598	21.55	159.63	26.60	75.172	
99	25.74	1.203	26.235	10.022	3.629	21.29	147.45	26.24	76.212	
100	26.00	1.205	26.500	10.039	2.660	21.04	155.32	25.38	77.259	

Contribucion al estudio de la flotacion ⁽¹⁾

250

El autor, una de las personas que tomaron parte en el descubrimiento de los hechos esenciales en que se halla basada la moderna flotacion, presenta el siguiente trabajo sobre los principios que rijen lo que hoy día constituye una práctica reconocida.

Algunas de las primeras tentativas de explicacion de la flotacion no resisten un escrutinio serio; i no es de estrañar lo tratándose de un asunto que aun hoy día permanece impenetrable a nuestro saber. Por otra parte, muchos de los fenómenos que intervienen han recibido un tratamiento matemático demasiado profundo para las necesidades del metalurgista práctico, quien a su turno ha acumulado hechos i conocimientos empíricos de condiciones que son a menudo desconocidas para el matemático. En el presente trabajo se trata de coordinar i explicar la serie de todos los hechos, en un lenguaje sencillo i no matemático, dentro de los amplios límites de la teoría molecular i escluyendo detalles operativos.

En algunas partes la crítica ha atacado a los primeros poseedores de patentes del procedimiento de flotacion por la espuma, por la tardanza en publicar los resultados de su esperiencia i saber para beneficio de la industria; pero esta inaccion les fué impuesta a ellos i a la compañía explotadora del procedimiento (Mineral Separation, Ltd.) por los litijios que han debido sostener casi continuamente durante los últimos catorce años.

El empleo del término «flotacion» se ha restringido, en la práctica moderna se aplica a los procedimientos de concentracion de minerales en que se estraen sulfuros metálicos u otras partículas suspendidas en una pulpa acuosa de mineral, mediante una espuma de burbujas de aire. Hace poco que este procedimiento se definió con mayor precision como «flotacion por la espuma» o «procedimiento con espuma de agitacion» a fin de distinguirlo de otras formas de concentracion por flotacion que se valen de otros medios para hacer flotar; i tambien de los «procedimientos por la película» i de los sistemas de adhesion con aceite que no implican flotacion.

Estos otros procedimientos pueden clasificarse convenientemente como sigue:

- 1) Procedimientos que utilizan el efecto de la tension superficial en

(1) Extracto de un trabajo presentado a la Institution of Mining y Metallurgy en Lóndres, el 20 de Noviembre de 1919 i publicado en *Mining and Scientific Press*. Enero de 1920.

una superficie de agua, o procedimientos por la película; tales son los de De Bavay, Bradford i Mac Quisten.

2) Procedimientos en los cuales se emplea el aceite tanto como adherente cuanto como medio de flotacion para las partículas separadas, o sea procedimientos de «flotacion de aceite». Estos incluyen el empleo de una masa de aceite, como en el procedimiento de Elmore («bulk-oil»); en éste el efecto flotante del aceite se puede aumentar por inclusion de algunas burbujas de aire, aserrin impregnado de aceite u otros medios.

3) Métodos que dependen de la adherencia entre aceite o grasa i las partículas por separar; pero no de la recuperacion final por flotacion, denominados procedimientos de adherencia, como los de la plancha engrasada, la cinta aceitada, el de Murex, el de Cattermole i otros procedimientos parecidos:

4) Procedimientos en que se jenera la espuma mineral por medio de gases distintos del aire, producidos por reacciones químicas, en las cuales pueden tomar parte a veces los minerales; como son los procedimientos de Potter, Delprat i Froment.

5) El procedimiento de vacío de Elmore, i métodos de «plus-pressure», en los cuales las burbujas de aire se jeneran sobre el mineral i partículas aceitadas con ayuda de diferencias de presion.

La clasificacion anterior es una clasificacion rústica, ya que existen conexiones entre procedimientos incluidos en mas de una de las clases; sin embargo, una definicion mas precisa exigiria un trabajo inútil. El aceite se ha usado, pues, en los métodos por la película; la flotacion de aceite se ha empleado para estraer partículas metálicas en suspension no asociadas con ganga; i aunque teóricamente el aceite no es indispensable para la flotacion por la espuma, todavía se usa en corta cantidad por considerársele útil. No intentamos o pretendemos discutir aquí los méritos o ventajas de los diversos procedimientos.

Casi todos los sulfuros metálicos, como asimismo minerales en que se presentan en cantidades prácticas metales nativos i sustancias no metalíferas (azufre i grafito) son aptos para ser concentrados por flotacion. Debido a la simplicidad i lo económico de la operacion i al hecho de ser apta para recuperar minerales de fangos o relaves, la flotacion ha hecho rentable la explotacion de muchos yacimientos que hasta ahora se consideraban exentos de valor; así, un yacimiento de sulfuros con 0.8% de cobre i aunque sea con pequeña lei de plata actualmente se puede beneficiar con provecho. Los mismos factores han hecho aumentar considerablemente las utilidades de muchas minas productivas; se calcula que por este método se tratan anualmente unas 60.000,000 toneladas de mineral.

Al principio se pensó que este procedimiento era aplicable solamente a los minerales del tipo anteriormente mencionado; pero la esperiencia

ha demostrado que la flotacion por la espuma tiene un campo de aplicacion mucho mas vasto. En la actualidad se están tratando en escala comercial minerales oxidados de plomo (sin la intervencion de ningun procedimiento de «sulphide-filming»), i las investigaciones recientes han demostrado que otros óxidos minerales como casiterita se pueden «flocular» primero i flotarse despues; aun los minerales que forman las gangas presentan marcadas diferencias en su tendencia a flotar, a permanecer mojados i a hundirse. La floculacion de una sustancia en perfecto estado de suspension es una operacion prévia de la flotacion, de aquí que el problema se reduzca en todos los casos a asegurar una floculacion «selectiva» o «diferencial» del mineral que se quiere flotar. Con mayor conocimiento de los pequeños i a menudo aun determinantes márgenes de adherencia al agua u otros líquidos que presentan los diversos minerales, las posibilidades de la flotacion prometen ampliacion en muchos sentidos, ya que cualquier mineral «floculado» puede flotar mediante la espuma; la separacion efectiva de éste de las demas sustancias se basa sobre la condicion de que se retengan las últimas como «suspensoids» en agua. Con respecto a la casiterita las investigaciones seguidas indican su perfecta separacion de las diversas gangas que la acompañan, i hacen ver que no está lejano el dia en que se llegue a desarrollar un procedimiento de flotacion económico; hasta se ha encontrado posible separar la barita de las gangas asociadas por flotacion diferencial. La flotacion por la espuma ha llegado a encontrar aplicaciones fuera del campo de la metalurgia, pues ya se la ha aplicado a ciertas ramas de la industria química.

Cuando se ajita una pulpa mineral acuosa con una pequeñísima cantidad de aceite u otro «reactivo», su contenido de sulfuros se separa en forma de una espuma coherente cuando cesa la agitacion. Tomando en cuenta la gran cantidad de trabajos realizados anteriormente sobre flotacion de aceite i métodos por la película, parece extraño que un método aparentemente tan sencillo no se haya descubierto ántes. Parece que la razon principal de ello estuviera en el hecho de haber sido considerado el aceite como el agente necesario de la flotacion i no el aire; de aquí que los primeros inventores usaran aceite en exceso con respecto a las cantidades estremadamente pequeñas que se encontró mas tarde que limitaban i determinaban la flotacion por la espuma, siendo perjudicial ademas cualquier exceso sobre dichas cantidades. Cattermole en su ingenioso procedimiento para «granular» los sulfuros minerales reduciéndolos a pequeños aglomerados precipitados como municiones i separables de las partículas de ganga no afectadas por métodos gravitacionales, fué el primero en reducir el aceite a una cantidad pequeña en comparacion con la del mineral estraido. Mediante una mayor reduccion del aceite, hasta casi suprimirlo, i en presencia de un conjunto de burbujas de aire finamente divididas, se des-

cubrió que el fenómeno de Cattermole se habia invertido; en lugar de formar aglomerados en forma de municiones, ahora el mineral subia en su totalidad a la superficie en una espuma de aire mineralizada.

Por lo tanto, el procedimiento no surgió del empleo del aceite como medio flotante para el mineral, puesto que el aceite dejó de obrar como tal cuando su volúmen se redujo a uno muy pequeño; se pasa por un período en que el mineral se hunde ántes de que la proporción se reduzca a un grado suficientemente pequeño para permitir la formación de una espuma. En 1903 se inscribió la patente (1) de un procedimiento para separar mineral de una pulpa de éste enviando a través de ella una corriente de burbujas de aire cargada con aceite vaporizado o pulverizado. Sin embargo, este método no condujo a la producción de una espuma ni a ningún resultado práctico, porque las otras condiciones precedentes, esenciales para la formación de espuma en esa época no habían sido descubiertas; actualmente se sabe que introduciendo una película de aceite relativamente considerable en el interior de una burbuja se perjudica la flotación del mineral. También se encontró que las partículas minerales podían mantenerse suspendidas temporalmente en las espumas producidas por soluciones acuosas de alcohol amílico i otras sustancias, no tan fácilmente en solución de jabón i no se mantenían en suspensión en una saponina, de «ox-gall» o de ácido tánico; pero por razones análogas a las ya espuestas estos experimentos tampoco fueron fecundos en resultados prácticos en aquella época.

No fué sino mucho más tarde cuando se llegó a comprender lo ínfimo de la cantidad de aceite necesario; en efecto, la flotación por la espuma no depende «esencialmente» del empleo de ninguna clase de aceite, puesto que las burbujas de aire adhieren fácilmente a los sulfuros metálicos i otras partículas en su ausencia; el aceite, aunque es un auxiliar útil, no es el causante de la flotación ni un intermediario necesario. No sólo se consigue la flotación empleando «reactivos» no aceitosos i completamente solubles como cresol i alcohol amílico, sino que con una simple corriente de burbujas de aire conducida a través de una pulpa acuosa de mineral se obtienen también resultados prácticos. L. A. Wood proyectó una máquina de subaeración de este tipo que trabajó perfectamente bien, aun tratándose de flotación «diferencial». Esto no es de extrañar ya que partículas minerales de considerable tamaño flotan libremente gracias a la tensión superficial, i muchas partículas finamente divididas son absorbidas en una superficie de agua plana que puede considerarse como una porción de una burbuja de diámetro infinito.

Antes, o poco después del invento de Cattermole, que en 1905 habia sido introducido en escala comercial en Australia, mucho se habia tra-

(1) *Sulman and Picard*, núm. 20419 de 1903.

bajado con procedimientos por la película («filming»). Varios métodos habian alcanzado éxito, especialmente el de Elmore (de vacío) para cuya aplicacion se habian instalado planteles en diversos países, i los procedimientos de Potter, Delprat, i De Ba vay, en Broken Hill i otros.

La flotacion por la espuma constitua, por lo tanto, el último eslabon en un largo encadenamiento de esfuerzos. Todos estos métodos se desarrollaron empíricamente; las ciencias físicas i la química si apenas han suministrado alguna ayuda; el éxito se alcanzó en cada caso por métodos de pacientes ensayos. Hasta ahora la ciencia es incapaz de proporcionar una explicacion completa de todos los fenómenos que intervienen, no obstante ser el actual procedimiento tan sencillo i de resultados tan inmediatos, que a primera vista podria parecer posible una explicacion igualmente sencilla.

Lo esencial en la flotacion por la espuma es que una pulpa mineral acuosa, en jeneral formada de no ménos de cuatro partes en peso de agua por una de mineral, sea ajitada durante mayor o menor tiempo con ciertos reactivos que se pueden clasificar convenientemente como sigue:

a) Un material jenerador de espuma como ser, cresol, alcohol amílico, la parte soluble de un aceite; este material, reduciendo suavemente la tension superficial del agua, favorece la formacion de un extenso sistema de burbujas o espuma, en la superficie de la cual las partículas de mineral quedan adheridas o absorbidas.

b) Una sustancia estabilizadora de la espuma, jeneralmente se emplea como tal una pequenísima cantidad de aceite insoluble; éste es absorbido en la superficie de los sulfuros i aumentando el ángulo de contacto del sistema agua-mineral estabiliza la espuma compuesto hasta un grado mayor que el que se lograria con partículas no sometidas a tal tratamiento. La película de aceite en el mineral flotado debe ser de una tenuidad ultramicroscópica.

c) Una adicion o ingrediente que modifique la ganga (un ácido mineral, un álcali, ciertas sales alcalinas o de otra clase, algunos coloides), que actúan incrementando la adherencia entre las partículas de ganga i el agua; o sea, intensificando la accion mojadora del agua, evitando así su flotacion por el aire.

Las exigencias a) i b) pueden llenarse mediante el empleo de un solo aceite de carácter especial.

Se requiere una ajitacion perfecta de la pulpa mineral con los reactivos para:

× 1.º Asegurar una suspension uniforme de todas las partículas minerales en el agua, a fin de obtener en esta etapa del proceso el mayor efecto mojador posible i para diseminar en el agua los ajentes productores de la espuma.

2.º Para repartir el aceite inmisible a fin de obtener un revestimiento uniforme para las partículas de sulfuros con una película de finura ultra-microscópica, operación análoga a la anterior emulsificación temporal del aceite.

3.º Para que el agente modificador descoagule los aglomerados de partículas que no se quiere que floten i libere las partículas más flotables de dichos aglomerados.

4.º Para conseguir que hasta cierto grado se coagulen las partículas que se quiere que floten.

5.º El método de agitación empleado en el antiguo sistema «standard» de la Mineral Separation también sirve para introducir el aire en la pulpa mineral i dividirlo en finas burbujas, semejantes a una emulsión de aire en agua. Pero si se llenan las cuatro primeras condiciones mediante la agitación preliminar, lo que es cuestión de tiempo, las burbujas pueden producirse de otro modo i lanzarse hacia arriba a través de la pulpa preparada como en los aparatos de sub-aeración.

La explicación de la flotación puede fundarse sobre el diferente grado hasta que se dejan mojar las diversas sustancias por el agua u otros líquidos. La completa inmersión de un sólido en un líquido, aun cuando el primero se halle exento de una fina envoltura de aire, real o hipotética, i haya por consiguiente contacto efectivo, no implica el que el uno sea mojado completamente por el otro, ni que dos sólidos inmerjidos en el mismo líquido se mojen del mismo modo. Al sacar el sólido del líquido en el cual se ha inmerjido, puede, según sea la naturaleza de su superficie (propiedad que le es inherente como lo son la densidad, la dureza o el color), tener la tendencia a quedar mojado en mayor o menor grado, o puede aparentemente repeler la humedad de su superficie con menor o mayor rapidez i de este modo quedar total o parcialmente seco.

La «mojadura», que depende del grado de adherencia que se establece en el plano de contacto entre líquido i sólido, es, por lo tanto, una condición sumamente variable, i una teoría sobre la flotación debe basarse principalmente sobre las leyes físicas relativas a la propiedad de mojarse.

Sustancias susceptibles de ser mojadas completamente por cualquier líquido, finamente divididas quedan en perfecta suspensión, no tomando en cuenta efectos debidos a diferencias de densidad; es decir, quedan como «suspensoides» o posiblemente como coloides («sols»).

La coagulación de los coloides i la «floculación» de los «suspensoides» prueban que la primera tendencia de tales suspensiones es mojarse menos completamente debido a que decrece la adherencia entre líquido i sólidos. Cuando se ha realizado esta etapa del proceso, es comúnmente muy fácil aprovechar la menor tendencia de mojarse i mejorar el proceso de seca-

miento, poniendo en contacto con el aire una área suficientemente grande de sólido.

Puede parecer entónces que las partículas son empujadas parcialmente desde el agua hácia el aire, ya sea sobre una superficie de agua o una superficie de burbuja, donde son mantenidas por la tension superficial del líquido. Los fenómenos de floculacion, absorcion i flotacion por aire resultan ser, de este modo, grados de mojamiento diferencial íntimamente relacionados, i del último de ellos arrancan todos los fenómenos de la flotacion.

Vamos a revistar brevemente los principios moleculares que intervienen en la esplicacion del proceso; pero podemos establecer desde luego que el grado de mojamiento puede ser influenciado por la porosidad molecular de la superficie del sólido, e indicado mas o ménos cuantitativamente por el ángulo de contacto entre la superficie libre del líquido i el sólido.

Tales ideas han venido a reemplazar a otras anteriores que atribuian a los sólidos «energías superficiales específicas», las que se suponian capaces de efectuar condensaciones de aire o gases sobre ellos, como preferencia a las adhesiones de líquido. Además, como los efectos de la flotacion se observó primero que eran pronunciados con respecto a muchos de los sólidos elementales, como ser metales finamente divididos, los metaloides boro, carbono, silicio, azufre i selenio, i poco ménos para los sulfuros metálicos, siendo la mayoría de éstos sustancias de gran energía química en comparacion con el oxígeno, por ejemplo, se llegó a concebir la idea de que la energía química del sólido se hallaba reflejada en la antedicha «energía de superficie». Ahora sabemos que donde no se halla implicada ninguna reaccion química efectiva, la energía molecular de superficie de cualquier sólido tiene escasa o ninguna relacion con las fuerzas inter-atómicas que constituyen la actividad química. Tampoco las primeras teorías dieron la esplicacion de todos los hechos, pues el oro, un elemento de tan pequeña actividad química, flota con tanta facilidad como elementos químicamente mas enérgicos cual son carbono i azufre, i los diversos sulfuros; además compuestos completamente oxidados como ser calcita, carbonato de cobre, casiterita i varios minerales que forman las gangas pueden flotarse casi con igual facilidad que los elementos i los sulfuros. La energía de superficie de los sólidos, aunque es un factor tan esencial en los fenómenos de mojamiento como el de los líquidos, no tiene ninguna relacion con la actividad química de aquéllos.

Aun con respecto a la flotacion por película de sólidos densos prevalecian ideas erróneas; comunmente se pensaba que las partículas se hallaban sostenidas en una depresion de la superficie resistente del agua como en una hamaca, en vez de considerarlas como suspendidas en el líquido debido a la tension superficial de éste.

Los cambios físicos que intervienen guardan relacion' con las fuerzas moleculares de alta intensidad, las cuales actúan solamente a través de ínfimas distancias; es necesario examinarlas con algun detenimiento.

Aunque la teoría matemática de la tension superficial enunciada por Laplace es todavía de valor fundamental, es por sí sola insuficiente para explicar los nuevos hechos acumulados. Laplace, que vivió en la era del flojisto de la química, consideraba los sólidos i líquidos como medios prácticamente continuos, compuestos de partículas fijas i unidas íntimamente, sin guardar intervalos i desprovistas de la polaridad que hoi se les ha debido asignar conforme a las modernas teorías de la cristalografía. El consideraba, por lo tanto, las superficies de sólidos i líquidos como planos matemáticos; pero los problemas presentados por la química i la física de los coloides, i las estensas industrias técnicas afectas (la flotacion puede considerarse como tal) ya no se pueden explicar sobre esta base.

CONSTITUCION MOLECULAR DE LOS SÓLIDOS I LÍQUIDOS

Segun la teoría molecular los sólidos, líquidos i gases están compuestos de partículas finitas i físicamente indivisibles o moléculas, separadas unas de otras por distancias que son comparativamente mui pequeñas en los sólidos, algo mayores en los líquidos i grandes en los gases. Todas esas partículas se hallan dotadas de rápido movimiento, el cual aumenta cuando se eleva la temperatura i decrece cuando ésta baja: el movimiento molecular i en consecuencia, toda accion química cesa a la temperatura del cero absoluto (-273° C.) A 0° C. la velocidad media (1) de una molécula de hidrójeno se calcula en 4100 millas por hora, o un poco mas de una milla por segundo. Las velocidades de las moléculas de otras sustancias a iguales temperaturas son inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de sus pesos moleculares; así, una molécula de sílice a 0° C. tendria una velocidad de $\frac{4100 \times \sqrt{2}}{\sqrt{56}}$ millas por hora, o sea, mas o ménos un

(1) Debido a los choques estremadamente frecuentes i cónctacos angulares variables, las velocidades de las diferentes moléculas en la misma sustancia, como tambien la velocidad de cualquier molécula dada en diversos instantes, tiene que variar considerablemente; la velocidad media deducida por métodos estadísticos es la que se anota arriba.

cuarto de milla por segundo. La distancia media recorrida entre colisiones es pequeña en los líquidos i mas pequeña aun en los sólidos.

En los gases las moléculas están chocando continuamente entre sí; siendo perfectamente elásticas, rebotan sin pérdida de energía, i sus impactos con las moléculas de las paredes del vaso que los contiene constituyen la presión que ejercen aquéllos sobre dicha pared. A la presión atmosférica el camino medio recorrido entre dos colisiones sucesivas (el «mean free path» de los gases) es mas o menos de $\frac{1}{4\ 000\ 000}$ de pulgada.

En agua líquida las moléculas se mueven con una velocidad media de mas o menos un tercio de milla por segundo; cuando se hallan completamente encerradas, su «mean free path» es pequeño, probablemente menor que el diámetro de una molécula. Sin embargo, se mueven libremente entre ellas, dando lugar a la movilidad del líquido en su conjunto, mientras sus movimientos independientes esplican los fenómenos de difusión.

En un sólido las moléculas se hallan sujetas a un juego mucho mas restringido, aunque la semejanza jeneral entre los volúmenes del estado sólido i del líquido para una misma sustancia no indica que haya un espaciamiento intermolecular mucho mas estrecho. Se concibe que las moléculas oscilan en la mayor parte entre posiciones mas o menos fijas, chocando constantemente con las moléculas vecinas. Los fenómenos de cristalización i magnetismo demuestran que las moléculas son capaces de adoptar direcciones axiales determinadas, o sea, de «orientarse»; pero no pudiendo moverse independientemente entre ellas i con alguna facilidad, su conjunto posee rigidez i forma.

Sin embargo, las moléculas de un sólido pueden cambiar lentamente en sus posiciones relativas i este cambio puede orijinar serias alteraciones en su estructura, como es el caso de la cristalización de masas de acero en las cuales se opera una lenta segregación i orientación de las moléculas partiendo de un sistema molecular orijinalmente mas complejo. Las moléculas de un sólido pueden caminar dentro de la masa de otro sólido, como ocurre en la difusión mutua de plomo i oro sometidos a presión, i los muchos casos de «soluciones sólidas» que se podrian citar.

Existen transiciones entre los estados típicos sólido i líquido; tales estados presentan la pez, las ceras, el hielo i muchos coloides; muchos sólidos no cristalizados conservan cierto carácter viscoso; aun algunos cristales presentan cierta viscosidad.

Si, a falta de conocimientos mas definidos sobre la forma de las moléculas, suponemos que éstas sean esféricas, el diámetro de una molécula de agua seria 4×10^{-8} cm., o sea dos i media veces inferior a un millonésimo de milímetro. El diámetro de una molécula de hidrógeno es igual a la mitad, mas o menos, del de una de agua; el diámetro de moléculas complejas

como las de ácido tánico, jabon o albúmina, es, naturalmente, mucho mayor. Un centímetro cúbico de cualquier gas permanente a 0° C. i a la presión ordinaria contiene 2.75×10^{19} moléculas.

GRAVITACION I FUERZAS MOLECULARES

Las moléculas de todas las sustancias se hallan sometidas a estas dos clases de fuerzas. Gravitacion es la fuerza con que son atraídas todas las moléculas de un cuerpo por las de otro; esta fuerza varia en razón directa de las masas e inversa del cuadrado de la distancia. La gravitacion es, por supuesto, sensible a largas distancias, la materia en la tierra es sensiblemente atraída por el sol a través de una distancia de 95.000,000 de millas. Esta fuerza es independiente de la naturaleza química de los cuerpos; un gramo de plomo ejerce sobre otro gramo de plomo la misma atracción que ejercería sobre un gramo de cal o de agua a la misma distancia.

Las atracciones moleculares son mucho más intensas; pero se manifiestan sólo a través de ínfimas distancias; por lo tanto, tales fuerzas entran en juego solamente cuando las moléculas casi se llegan a poner en contacto, i dejan de ser sensibles cuando la distancia excede un diez milésimo de milímetro o probablemente mucho menos. Algunos físicos opinan que hai motivos para considerar que dicha distancia es del orden de $5 \mu\mu$ (1), por lo tanto, para el agua el radio de atracción molecular debe ser considerablemente superior a esta cantidad, de otro modo no habría atracción entre las moléculas, salvo el caso de que se encontraran en contacto. Johannot ha medido una película de jabon intensamente negra justamente antes de su ruptura, i ha encontrado que su espesor no pasaba de $6 \mu\mu$, o sea de un mínimo de 24 diámetros moleculares.

Se han asignado límites mucho mayores al radio de atracción molecular; Plateau i Maxwell han indicado la cifra $118 \mu\mu$ i, Plateau i Quincke, la de $50-59 \mu\mu$ como límite superior. Es posible que en muchos casos sea aun mayor; así, por ejemplo, en las absorciones selectivas entre saponina i los diminutos glóbulos de una emulsión de aceite, en una superficie de agua los últimos no alcanzaron a llegar a la superficie del líquido, faltando una muy pequeña, pero visible fracción de milímetro. Por otra parte, las películas de saponina, albúmina, metales precipitados i sus sulfuros, i de partículas minerales absorbidas en una superficie de agua, pueden tener a menudo un espesor visible, que excede por mucho los mencionados anteriormente. Es indudable que intensas fuerzas de adherencia entre las partículas estrañas ayudan a la formación de tales películas; pero en estos

(1) La milésima parte de un milímetro se denomina «micron» i se escribe o se designa por « μ », i la millonésima parte de un milímetro es un «micromilímetro» i se designa por « $\mu\mu$ ».

casos la concentracion procede de un modo acumulativo, no fácil de conciliar con un campo de atraccion molecular mui pequeño. El radio de atraccion molecular puede variar entre $5\mu\mu$ i una fraccion del largo de onda de la luz, es todo lo que podemos decir con seguridad.

Contrariamente a lo que ocurre con la gravitacion, la atraccion molecular varía con la naturaleza química de las moléculas, i hai pruebas (deducidas mas tarde por Edser) de que varía para las diversas clases de sustancias, en razon inversa de la 6.^a a la 9.^a potencia de la distancia. Así tomando el límite inferior, si se dobla la distancia entre dos moléculas se reduce la atraccion que orijinalmente ejercia la una sobre la otra a $1/64$. Hai, pues, una rápida variacion en la intensidad de la atraccion molecular aun dentro de los ínfimos límites de las distancias dentro las cuales ésta se ejerce.

Sin embargo, es a estas fuerzas de tan ínfimo órden a las cuales se deben las propiedades de cohesion, adherencia, tension superficial, absorcion, etc. Todas las fuerzas moleculares, en último oríjen son probablemente eléctricas; pero no se gana nada con suponer, a falta de conocimientos mas exactos, que sean de éste o de cualquier otro oríjen; no se obtiene, en realidad mejor resultado que el que se logra en cuanto a las leyes de la gravitacion, con suponer un oríjen eléctrico de la materia.

En los gases las moléculas se hallan tan separadas que, salvo en el momento de chocar, sus atracciones mutuas se pueden despreciar. En los líquidos i en los sólidos, como hemos visto, las moléculas se hallan mas íntimamente ligadas, sus atracciones recíprocas constituyen la cohesion, etc.; pero aun en los sólidos la estructura oscilatoria queda granulosa i molecularmente porosa i sus superficies son, por lo tanto, penetrables hasta cierto grado por las moléculas de gases (oclusion de gases i permeabilidad), de líquidos i, en algunos casos, aun por moléculas de otros sólidos.

COHESION.—Las fuerzas atractivas que ejercen sobre una molécula del interior de un sólido o de un líquido las demas moléculas vecinas, no tienen una resultante permanente. Supongamos que la fig. 1 represente en seccion vertical una pequeña masa de agua i los pequeños círculos marquen las posiciones medias de moléculas en cualquier instante. Si se traza un plano imaginario A B, las moléculas que se hallan inmediatamente a un lado de éste atraerán a las del otro lado con la misma fuerza con que atraen a sus vecinas i no habrá fuerza resultante que tienda a moverlas en ninguna direccion. Las atracciones que mutuamente ejercen a traves del plano imaginario constituyen la cohesion.

PRESION INTRÍNSECA.—La atraccion mutua de las moléculas situadas a ámbos lados de un plano imaginario esplica la cohesion de las sustancias pero si no existiera otra fuerza, i las moléculas permanecieran en reposo, todas se acercarian hasta tocarse; si suponemos las moléculas individual-

mente incompresibles, resultaria incompresible el conjunto. Sin embargo, la experiencia demuestra que todas las sustancias son compresibles i dilatables; la fuerza, estáticamente considerada, que mantiene la distancia intermolecular media se denomina «presion intrínseca», i en los sólidos i líquidos equilibra a la fuerza de cohesion.

Worthington ha demostrado que para producir un pequeño aumento de volúmen en un líquido se necesita aplicar una tension igual a la compresion que se requiere para producir una igual disminucion de volúmen; la elasticidad de un líquido es, por lo tanto, la misma a la tension que a la compresion. La fuerza de tension del agua pasa de 11,000 atmósferas, se acerca a la del acero; la cohesion de la mayoría de los sólidos homogéneos i de los líquidos es mas o ménos del mismo órden.

La fuerza de cohesion no tiene efecto directo sobre la movilidad de los líquidos, que permite su adaptacion a cualquier forma, en el supuesto de que la distancia media entre sus moléculas no sea alterada. El agua a pesar de su gran coherencia, puede dividirse tan fácilmente en gotas debido a su movilidad; las moléculas, sometidas a una fuerza esterna como es la gravitacion escurren unas sobre otras sin que aumenten las distancias intermoleculares, permitiendo, por ejemplo, que el agua sea estraida en forma de una columna cilíndrica. Cuando la longitud de ésta excede al largo de su circunferencia, ya deja de haber estabilidad debido a la accion de sus propias fuerzas moleculares superficiales (tension superficial) las que la hacen tomar una forma con vientres i contracciones. Esta forma con alternaciones de vientres i cinturas se sigue desarrollando hasta que llega un momento en que las cinturas se hacen tan estremadamente delgadas, que la columna se resuelve en una serie de gotas.

La presion intrínseca, siendo igual i de sentido opuesto a las fuerzas de cohesion, determina la distancia intermolecular media para cualquier sólido o líquido; la primera se opone a la compresion i la cohesion se opone a la expansion. El efecto de estas fuerzas se puede asimilar al de una serie de resortes uniformes que conectaran o ligaran las moléculas i que exigiera igual esfuerzo para comprimirlos que para estirarlos; el uno sirve como medida para el otro, i ámbos son manifestaciones de fuerzas que actúan entre las moléculas.

Considerada desde el punto de vista cinético, la presion intrínseca es la resultante de los choques moleculares que se orijinan debido al movimiento de las moléculas; i siendo éstas perfectamente elásticas pierden, en consecuencia, enerjía. Cuando se hallan separadas por sus distancias medias su enerjía total es potencial; i a medida que se acercan entre sí, esta enerjía se va convirtiendo en cinética hasta llegar a trasformarse totalmente en enerjía cinética en el momento del impacto. Al rebotar, la enerjía se transforma en potencial, i así sucesivamente, se operan las mismas tras-

formaciones alternadas de energía potencial i cinética que se efectúan en un péndulo. Así, todas las moléculas en sus posiciones medias se hallan sometidas a esfuerzos iguales i equilibrados.

Mas allá de la superficie libre de un líquido no hai moléculas que se atraen o que chocan, i las que se mueven al exterior recorrerán, por esto, un camino mayor que su «mean-path» en el interior, por término medio. De aquí se sigue que el espaciamento molecular en las capas superficiales es mayor que en el interior, i se establece un estado de tensión. Como no se puede concebir la energía sin que exista esfuerzo, es ésta una manera de establecer el oríjen de la «energía de superficie»; esta idea de la densidad de superficie reducida ha sido mantenida por van der Waals.

Dondequiera que los espaciamentos moleculares excedan a los espaciamentos normales para la sustancia que se considera (líquido o sólido) tiene que resultar un estado de tensión; un ejemplo de la energía manifestada por tales superficies nos lo ofrece la balanza de cuarzo de Mme. Curie en la cual los esfuerzos sobre una placa de cuarzo son producidos por pesos i orijinan cargas eléctricas sobre la superficie cubierta con papel de oro; o tambien, las cargas eléctricas que resultan de los esfuerzos moleculares producidos por expansion o calentamiento de cristales que terminan asimétricamente («piezo» electricidad).

Esta condicion de las capas superficiales de sólidos i líquidos de ser algo ménos densas i hallarse sometidas a menor sollicitacion tiene gran importancia en la absorcion, como lo haremos notar mas adelante.

Cuando las fuerzas de atraccion son mui pequeñas, como ocurre en los gases la cohesion se puede despreciar, i la presión debida a la velocidad de las moléculas ya no se halla contrarrestada. Un centímetro cúbico de agua se convierte en 1,700 cc. de vapor de 100° C., en consecuencia, las moléculas del vapor deben hallarse separadas por una distancia $\sqrt[3]{1700}$ veces, o sea, mas o ménos 12 veces mayor que en el líquido. Si la distancia intermolecular se reduce mediante una fuerte compresion, los gases ya no siguen la lei de Boyle, especialmente cuando se hallan próximos a su punto de licuacion, debido a que las atracciones moleculares ya se hacen sensible i dejan de ser despreciables.

Puesto que la distancia media entre moléculas en los gases es grande en comparacion con el diámetro de éstas, siendo despreciables por esto sus atracciones mutuas, el volúmen real o efectivo de las moléculas debe ser pequeño en relacion con el espacio en el cual se hallan diseminadas.

Si suponemos que un cilindro provisto de émbolo contiene un gramo de un gas de la constitucion indicada, el continuo bombardeo del émbolo por las moléculas en movimiento tenderá a impulsarlo hácia afuera i el esfuerzo que se ejercerá sobre dicho émbolo será proporcional: 1) al número

de moléculas contenidas en la unidad de volúmen de gas, 2) al cuadrado de la velocidad de las moléculas, i 3) a la masa de cada molécula. El número de moléculas por unidad de volúmen del gas es proporcional a la densidad de éste, o inversamente proporcional al volúmen, v , de 1 gr. del gas; se supone que el cuadrado de la velocidad de las moléculas es proporcional a la temperatura absoluta T del gas. Así, si designamos por p la presión o fuerza por unidad de superficie, que ejerce el gas sobre el émbolo, tendremos:

$$p = \frac{RT}{v} \quad \text{o} \quad p \cdot v = RT,$$

fórmula en la cual R es una constante independiente de la densidad i temperatura del gas.

La lei establecida experimentalmente por Boyle dice que a temperatura constante la presión de una cierta masa de gas es inversamente proporcional a su volúmen o sea que el producto $p \times v$ es constante; resultado que tambien se obtiene haciendo T constante en la ecuacion anterior. Puesto que T es proporcional al cuadrado de la velocidad de las moléculas la temperatura sería igual a cero si éstas se hallaran en reposo absoluto; la temperatura a la cual esto ocurre se denomina el «cero absoluto» i se encuentra a 273° bajo el punto de congelacion del agua. Así T es igual a la temperatura centígrada más 273° .

Segun la hipótesis de Avogadro, en igualdad de temperatura i de volúmen los diferentes gases contienen el mismo número de moléculas. Posteriormente Maxwell ha deducido teóricamente i lo ha confirmado experimentalmente Perrin, que a una temperatura dada una molécula de cualquier gas posee una cantidad definida de energía cinética en virtud de su movimiento lineal, i esta cantidad no depende de la naturaleza química del gas. El esfuerzo ejercido por el impacto i rebote de una molécula es proporcional al producto de la mitad de la masa por el cuadrado de la velocidad de la molécula; esto es, a la energía cinética debida a su movimiento lineal; i puesto que este último valor es independiente de la naturaleza química del gas, resulta que a una temperatura dada el impacto i rebote de una molécula, cualquiera que sea su naturaleza, ejercitará la misma fuerza, sea que se trate de una molécula de hidrógeno, o de una de oxígeno, nitrógeno, agua o alcohol.

Si dos cilindros contienen igual volúmen de diferentes gases a igual temperatura, el número de moléculas en ámbos será el mismo i la fuerza derivada del choque i rebote de las moléculas tambien será la misma; las presiones serán iguales, i por lo tanto lo será tambien el producto $p \cdot v$.

Si en vez de volúmenes iguales, se consideran masas iguales de los dos gases, sus volúmenes serán inversamente proporcionales a sus pesos moleculares; pues, si denotamos respectivamente por M_1 i N_1 el peso molecular i el número de moléculas de un gramo de uno de los gases, i por M_2 i N_2 las mismas cantidades correspondientes al otro gas, siendo la masa total de gas 1 gr., en ámbos casos se tendrá

$$N_1 M_1 = N_2 M_2 \quad \text{o sea} \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{M_2}{M_1}, \text{ la}$$

ecuacion $p \times v = 8.4 \times 10^7$. Se encuentra que T representa la relacion entre la presion, el volúmen i la temperatura de 1 gr. de cualquier gas de peso molecular M . La cantidad $\frac{8.4 \times 10^7}{M}$ denotada jeneralmente por R se denomina la «contante del gas» correspondiente a la sustancia; su valor numérico es igual al trabajo estérno, espresado en «ergs», que desarrollaría un émbolo si un gramo de gas encerrado en el cilindro se calentara elevando su temperatura en 1° C. i bajo la condicion de presion constante.

Haciendo estensivo este razonamiento a los líquidos, es necesario tomar en consideracion: a) la fuerza atractiva que ejercitan unas sobre otras las moléculas vecinas, que en este caso se encuentran mucho mas próximas; i b) el tamaño finito de tales moléculas. Como ya hemos visto, las moléculas situadas dentro de cierta distancia pequeña a un lado de un plano imajinario trazado en el líquido, atraen a las moléculas situadas a igual distancia al otro lado de dicho plano, i la fuerza atractiva que se ejerce sobre un centímetro cuadrado del plano constituye la cohesion del líquido. Si se duplicara la densidad del líquido, el número de moléculas atraídas situadas a un lado del plano i el número de las moléculas atractoras situadas al otro lado, se duplicarian a la vez i la cohesion vendria a cuadruplicarse. La cohesion es por consiguiente, proporcional al cuadrado de la densidad, o sea, al cuadrado del volúmen de 1 gr. del líquido, i puede, por lo tanto, representarse por $\frac{a}{v^2}$, siendo a una constante característica de la sustancia.

En cuanto a la consideracion del tamaño finito de las moléculas, se desprende claramente de la ecuacion $p = \frac{RT}{v}$ que para cualquier valor finito de T la presion puede llegar a hacerse infinita solamente si el volúmen se reduce a cero. Esto seria posible, naturalmente, si las moléculas fueran infinitamente pequeñas, pues así llegarían a estar en contacto sólo cuando el volúmen se redujera indefinidamente. Si las moléculas tienen un tamaño

finito, llegarán a ponerse en contacto cuando el volúmen se reduzca a una pequeña cantidad que denotaremos por b . Si se supone que las moléculas son incompresibles individualmente, la presión debe alcanzar un valor infinitamente grande cuando lleguen a estar en contacto; esta condición se cumple si la presión es igual a $\frac{RT}{v-b}$ en vez de $\frac{RT}{v}$.

Podemos ahora expresar los efectos derivados de la cohesión y del tamaño finito de las moléculas. Sea p la presión ejercida sobre el émbolo desde el exterior; ésta tenderá a comprimir el líquido. La cohesión $\frac{a}{v^2}$ también tiende a reducir el volúmen del líquido. Así, la fuerza resultante por unidad de área que tiende a producir compresión es igual a $p + \frac{a}{v^2}$ presión interna, debida al bombardeo del émbolo producido por el movimiento de las moléculas es igual a $\frac{v-b}{Rl}$; esta presión tiende a impulsar el émbolo hacia afuera y, por lo tanto, a producir la expansión del líquido. El término «presión intrínseca» se emplea generalmente para designar la cantidad $\frac{RT}{v-b}$. Para que haya equilibrio debe tenerse

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right) = \frac{RT}{v-b} \text{ o sea } \left(p + \frac{a}{v^2}\right) (v-b) = RT,$$

que es la ecuación de van der Waal, aplicable no sólo a los gases sino también a los líquidos.

La tabla siguiente da los valores de la cohesión $\frac{a}{v^2}$ para algunos líquidos; se observará que la cohesión a la temperatura ordinaria es superior a 10^9 dinas por centímetro cuadrado, o sea, mayor que 1,000 atmósferas. Por consiguiente, para presiones próximas a una atmósfera (1) se puede despreciar el valor de p , en relación con el de $\frac{a}{v^2}$, de modo que aproximadamente se tiene $\frac{a}{v^2} = \frac{RT}{v-b}$, es decir, que la cohesión es igual a la presión intrínseca.

(1) Una atmósfera equivale a 76 cm. de mercurio a 0° C o más o menos a 1 013 250 dinas por centímetro cuadrado.

Sustancias	Peso molecular	Temperatura	Cohesion endinas cm ⁹
Hidrógeno (líquido).....	2.016	-252° C.	3.09 × 10 ⁸
Argon (líquido).....	39.9	-183°	1.21 × 10 ⁹
Oxígeno (líquido).....	32.0	-188°	2.40 × 10 ⁹
Agua.....	18.08	20°	1.23 × 10 ¹⁰
Pentano.....	72.10	30°	9.00 × 10 ⁹
Eter.....	74.10	0°	1.11 × 10 ⁹
Mercurio.....	0°	3.55 × 10 ¹⁰
Alcohol etílico.....	46.05	0°	3.33 × 10 ¹⁰
Cloruro de sodio (fundido).....	58.50	803°	1.148 × 10 ¹⁰

A medida que sube la temperatura, la expansion del líquido hace aumentar v ; i la cohesion $\frac{a}{v^2}$ disminuye, en consecuencia. Sobre la temperatura crítica la cohesion ya no puede mantener unidas las moléculas para formar el líquido, i la sustancia puede existir solamente al estado de gas.

Cuando la temperatura es suficientemente elevada, la cantidad $\frac{a}{v^2}$ se puede despreciar con relacion al valor de p , i b se puede despreciar con respecto al valor de v , de modo que la ecuacion anterior se reduce a $p \times v = RT$, ecuacion que se puede aplicar sin error sensible.

ENERJÍA DE SUPERFICIE I TENSION SUPERFICIAL

Las moléculas de la capa superficial de un líquido difieren de las del interior en que se hallan sometidas a una fuerza atractiva resultante que las atrae hácia el interior. Sea E (fig. 1) una molécula de una capa próxima a la superficie; el círculo trazado con línea segmentada sea su campo de atraccion molecular.

La molécula E atraerá a todas las demas moléculas situadas dentro de ese campo, en razon inversa de una potencia de la distancia que las separa de ella; para las moléculas situadas en el límite del campo, es decir, sobre la circunferencia, la fuerza atractiva es despreciable. Todas las demas moléculas que la rodean actuarán sobre ella de una manera análoga. Pero su radio de atraccion corta a la superficie en JK, mas allá de esta línea no hai moléculas que se atraen recíprocamente. Dentro del segmento esférico JKLM la atraccion entre las moléculas contenidas en él i E se equilibra; pero siempre queda un exceso de fuerza atractiva, a saber, el que proviene de la atraccion que ejercen las moléculas situadas en el interior i representadas por el segmento hachurado debajo de LM, e igual en can-

tividad a las fuerzas atractivas que faltan en el segmento sobre JK. Resulta, por lo tanto, la molécula E solicitada por un esfuerzo dirigido hácia el interior.

Sobre la molécula F, actúa una resultante dirigida al interior aun mayor, puesto que no hai atracciones equilibrantes encima de ella. La atraccion hácia el interior aumenta así a medida que la molécula se acerca a la superficie i alcanza su valor máximo para moléculas situadas en la superficie misma. Si una molécula se moviera desde el interior hácia la superficie, tendria que realizar trabajo contra las atracciones resultantes; de aquí que al llegar a la superficie poseerá enerjía potencial superior a la que poseia en el interior, de la misma manera que un peso que se eleva contra la gravedad adquiere enerjía potencial.

Lo anterior puede considerarse solamente como la esposicion mas sencilla que es posible hacer de la teoría molecular en órden a dar una esplicacion de la enerjía de superficie; un desarrollo mas profundo tiene que ser necesariamente mas complicado. Así, las moléculas imponderables de albúmina, ácido tánico o jabon, que contienen centenares de átomos dispuestos en grupos moleculares complicados, diferirán considerablemente en masa, configuracion i fuerza atractiva resultante, de una molécula relativamente sencilla como la de alcohol, i la naturaleza de las atracciones resultantes de un conjunto tal que apénas se puede imaginar.

Tampoco se puede suponer que los tipos mas sencillos de moléculas posean configuraciones invariables o semejantes, o que ejerciten atracciones uniformes en todas direcciones. Es probable que cada una tenga sus ejes característicos; las diferencias en la polaridad (u orientacion parecida) de una masa de moléculas esplican las variaciones en las propiedades físicas que muestran las caras no semejantes o los planos de clivaje de un mismo cristal.

El agua misma, puede ser que no se halle formada simplemente por moléculas de H^2O , sino de moléculas «asociadas», $2(H^2O)$, $3(H^2O)$, o de «hidrones» posiblemente mas complicados aún; Tammann ha mostrado que por conjelacion del agua se pueden obtener fracciones de hielo de propiedades diversas, consideradas como provenientes de la conjelacion en diferentes proporciones de dichos grupos de moléculas «asociadas».

Como todas las moléculas de la capa superficial poseen mayor enerjía que las del interior, la enerjía potencial total por unidad de área de la superficie se denomina «enerjía de superficie» de la sustancia; i puesto que todo sistema tiende siempre a disponerse de tal manera que su enerjía potencial sea mínima para las circunstancias determinadas, la superficie libre que limita un líquido será tal que su área sea mínima. La enerjía de superficie de un líquido se exhibe principalmente en el fenómeno de «tension superficial» que actúa como si el líquido se hallara encerrado por una pe-

lícula uniformemente contráctil. Satisfaciendo esta condicion de enerjía mínima, o sea de mínima superficie, las gotas de un líquido al caer toman la forma esférica. Esta tension superficial se manifiesta por la resistencia que ofrece la superficie de un líquido a la ruptura; se manifiesta asimismo por la fuerza que ejerce tal superficie cuando el líquido se halla encerrado i soporta una columna delgada del mismo líquido, es decir, en el fenómeno de la «capilaridad»; tambien se revela en el hecho de que partículas comparativamente pesadas puedan quedar suspendidas en la superficie líquida; i en la absorcion i otros efectos.

Puesto que la tension superficial resulta de fuerzas no equilibradas que existen en la superficie, dicha tension debe de estar en cierta relacion fundamental con la magnitud de los esfuerzos internos equilibrados; esto es, con la cohesion o presion intrínseca de la sustancia. Está probado que existe esta relacion o dependencia; pues hai sustancias que poseen pequeña compresibilidad, es decir, una elevada presion intrínseca, i que tienen una gran tension superficial, i vice-versa.

	Tension superficial dinas cm	Coficiente de compresibilidad en dinas
Mercurio.....	440	3.83×10^6
Agua.....	75	48.00×10^6
Glicerina.....	65	52.00×10^6
Bencina.....	28	92.00×10^6
Alcohol.....	21.6	105.00×10^6
Acido acético.....	23	88.00×10^6
Eter.....	16	190.00×10^6

La compresibilidad de los metales i sólidos es menor que la de los líquidos.

Las fuerzas contráctiles debidas a la tension superficial pueden hacerse visibles echando sobre una superficie de agua polvo de licopodio (éste queda sobre la superficie sin mojarse), i tocando despues el agua con una fino cantidad de algun líquido de menor tension como ser alcohol, aceite, a bien con el extremo engrasado del dedo, las partículas de polvo saldrán disparadas en todas direcciones del punto de contacto; pues la superficie del agua que tiene mas alta tension arrastra la película contaminada ménos resistente i de mas baja tension.

La tension superficial difiere de la tension de una película de caucho, en que la última aumenta con el estiramiento miéntras que la tension de un líquido puro es constante i no se puede aumentar por estiramiento. Las moléculas mantienen su espaciamiento orijinal en la superficie; aumentando la superficie solo se consigue hacer venir mayor número de mo-

Moléculas del interior hacia la superficie para satisfacer el aumento de área superficial; estas últimas moléculas adoptan el espaciamiento comun a las otras moléculas de la superficie.

La tension superficial representada por a se puede definir, por lo tanto:

1) Como la enerjía espresada en ergs que se requiere para crear una superficie nueva de un cm^2 ; ésta para el agua vale 75.8 ergs; i a la inversa;

2) Como la fuerza igual a la atraccion molecular total ejercida a traves de 1 cm. de longitud en la superficie libre del líquido. Para el agua a 0° esta fuerza vale 75.8 dinas/cm. Siendo la gravedad 981 dinas por gramo, en Lóndres, resulta que la dina es mas o ménos equivalente al peso de un milígramo.

La tension superficial no es igual a la enerjía total de la unidad de superficie, puesto que en la formacion de una superficie nueva tambien se absorbe calor. Si la unidad de la nueva superficie tuviera que mantener la temperatura orijinal (condicion «isotérmica»), enerjía calorífica entraria en la superficie i se almacenaria allí. Una nueva superficie de agua creada absorbe por cm^2 una cantidad de calor equivalente a 41.5 ergs; por lo tanto, la enerjía de superficie total del agua a 0°C . es igual a 117.3 ergs por cm^2 . Si la superficie se agrandara adiabáticamente (sin que éntre ni salga calor del agua) el líquido se enfriaria.

La enerjía de superficie no puede considerarse como completamente concentrada en la superficie o cerca de ella; alcanza en ella su mayor valor i pasa a ser inapreciable a una profundidad talvez igual a la longitud o estension del campo de atraccion correspondiente al líquido que se considere; mas abajo de tal profundidad la constitucion molecular del líquido será la que es comun a su masa interior. Es en la capa superficial donde ciertas moléculas o partículas estrañas al líquido puro tienden a concentrarse; i éste alcanzará su máxima concentracion en la superficie misma. Este proceso de concentracion en la superficie se denomina «absorcion».

Entre los líquidos, el mercurio i los metales fundidos poseen la mayor tension superficial, hecho que tiene interes cuando se considera la probable magnitud de sus tensiones superficiales al estado sólido.

La tension superficial de un líquido puede medirse con precision, pesando el esfuerzo de traccion ejercido por una película del líquido (1). El método de las alturas capilares da resultados exactos solamente cuando el líquido moja completamente las paredes del tubo capilar (ángulo de contacto -0°), una condicion que no siempre es dado obtener.

(1) Véase «General Phisics por Students».—E. EDSER.

He aquí las tensiones superficiales aproximadas de algunos líquidos contra el aire:

	dinas cm.		dinas cm.
Cobre fundido.....	1178	Fenol (41° C.).....	37.0
Oro »	1018	Cresol.....	34.8
Plata »	858	Aceite de olivas.....	32.0
Zinc »	707	Petróleo.....	27.7
Aluminio »	520	Pinene (Terebene).....	25.9
Estaño »	480	Trementina.....	25.6
Plomo »	424	Cloroformo.....	26.6
Bismuto »	346	Acetona.....	23.0
Antimonio »	274		

MODIFICACION DE LA TENSION SUPERFICIAL

a) La tensión superficial decrece cuando aumenta la temperatura i desaparece en el punto crítico del líquido, cuando la superficie líquida se halla envuelta en su propio gas.

Para el agua a 0° C., $\sigma = 75.8$ dinas/cm.; por cada grado de elevación en la temperatura la tensión decrece en 0.152 dinas/cm.; por consiguiente para cualquier temperatura t° la tensión superficial será ($\sigma - 0.152 \times t$).

b) La tensión superficial es influenciada por la curvatura de la superficie, su valor se hace un poco menor para una superficie cóncava (una burbuja de aire en agua) o para una convexa (una gota líquida), en relación con la superficie plana. Pero esta disminución de la tensión superficial se hace perceptible solamente cuando el radio de curvatura es muy pequeño.

PRESION EN LAS BURBUJAS

Debido a la tensión superficial, la superficie de un líquido tiende a contraerse; i si la superficie se encurva, se producirá una presión que actúa hacia el centro de curvatura. La tensión superficial de la película de agua que rodea una burbuja de aire aumenta, por consiguiente, la presión contra el aire hasta que llega a equilibrar a la fuerza de compresión; de aquí que el aire encerrado en una burbuja se encuentre siempre a mayor presión que la atmosférica. Mientras mayor sea la curvatura mayor será la compresión i el exceso de presión P será inversamente proporcional al radio de la bur-

buja. Para una burbuja sumergida (despreciando la presión hidrostática) se tiene $P = \frac{a \times 2}{r}$; para una burbuja en el aire, cuyas paredes tienen dos superficies, se tiene

$$P = \frac{a \times 4}{r}$$

Como la disminución en el valor de a , debida también a la curvatura, es de un orden muy inferior al incremento de la presión debido a la misma curvatura, se alcanzan compresiones muy considerables en pequeñas burbujas de gas. En una de 0.001 mm. de radio, la que ascendería en el agua a razón de 1 mm. /seg. más o menos, el aire se halla sometido a un exceso de presión de más o menos una atmósfera.

c. La tensión superficial de un líquido se altera profundamente por absorción.

El agua pura no formaría una burbuja de aire persistente, ni una espuma. En efecto, no se puede producir una película estable, i por consiguiente tampoco espuma, con ningún líquido puro u homogéneo, sea agua, alcohol, éter, etc.; sobre este punto volveremos a tratar en el capítulo sobre «adsorción».

d. Un campo eléctrico normal a la superficie de un líquido hace disminuir la tensión superficial, puesto que la tensión de las líneas de fuerza eléctrica, actuando hacia afuera a través de la superficie aire líquido hacen disminuir la resultante de las fuerzas moleculares no equilibradas que actúan hacia el interior del líquido; sin embargo, tales efectos de la electricidad parecen ser despreciables en la práctica.

H. LIVINGSTONE SULMAN.

(Continuará).



El Bureau of Mines de los Estados Unidos (1)

En 1909 se inauguró la estación de experiencias de Pittsburgh. Desde aquella época, a impulsos de Mr. A. Holmes, el *Bureau des Mines* se ha ampliado mucho; nuevos i vastos locales admirablemente dotados de material se han establecido; el Gobierno federal, convencido de la importancia de la institución no ha regateado los créditos. La inauguración de un nuevo edificio destinado al *Bureau*, ha revestido un carácter verdaderamente solemne. Ha tenido lugar el día 30 de Setiembre de 1919, a presencia de las autoridades i con gran concurrencia.

La ley creando el *Bureau of Mines* le ha dado por misión proceder a las investigaciones científicas i tecnológicas relativas a las minas i a la preparación de las sustancias minerales para mejorar la salud i la seguridad de los obreros, i el rendimiento de las industrias mineras i metalúrgicas.

La organización comprende dos grandes divisiones: la división de las investigaciones i la de ejecución.

La primera comprende cinco subdivisiones, concernientes a las minas, la metalurgia, el petróleo, el material mecánico (comprendida la utilización de los combustibles) i la tecnología mineral.

El instrumento principal de esta división es el *Bureau* de Pittsburgh con sus laboratorios.

La división de ejecución comprende muchas subdivisiones.

La primera, relativa a las minas, tiene bajo su jurisdicción las estaciones i los vagones de socorro; se ocupa de prestar socorros en casos de accidente i procede a la educación del personal de salvamento. La segunda es un organismo de información; por la publicación de folletos i de gráficos da a conocer los resultados de los estudios de la estación de investigaciones; organiza, con el mismo motivo, exposiciones i representaciones cinematográficas. En fin, otras subdivisiones se ocupan de los trabajos materiales del *Bureau*.

La estación de Pittsburgh está admirablemente instalada; las diferentes divisiones tienen a su disposición los laboratorios siguientes: laboratorio de los combustibles el que se ocupa de investigaciones sobre la utilización del carbón pulverizado, de los aceites, del cok; sobre la calefacción de las habitaciones, de las calderas i sobre la transmisión del calor; laboratorio de ensayos eléctricos i laboratorio de investigaciones mecá-

(1) De la «Revista Minera, Metalúrgica i de Ingeniería», España. Febrero—1920.

nicas: el instrumental de este último está apenas comenzado; laboratorios de química para el carbon, el mineral, el gas; un laboratorio destinado a las investigaciones microscópicas, metalúrgicas i metalográficas; un laboratorio afecto al estudio de los explosivos; una estacion de contraste de los aparatos de medida empleados en este *Bureau*.

La estacion de Pittsburgh tiene como anexa la mina de esperiencias de Bruceton.

El *Bureau* puede por otra parte, efectuar una parte de sus ensayos en las minas o fábricas de la rejion.

La division de ejecucion comprende, como ya hemos dicho, estaciones de socorros en Pittsburgh, Pa., Metlester, Oklay Vincennes, Ind., Birmingham, Ala., Fellico, Tenn; Scattle, Wast., Norton, Va., i Berkley, Calif.

Once vagones i cinco automóviles de socorro se hallan estacionados en diferentes puntos del pais. A cada uno de esos vagones o automóviles está afecto un personal compuesto de un ingeniero, un médico, un contra-maestre, un obrero de salvamento, un empleado i un criado. Ademas de los accidentes, este personal se ocupa de inspeccion, de investigaciones en las minas i del ejercicio de las brigadas de salvamento.

Tales medios, puestos a la disposicion de un importante Estado Mayor, permiten a este último considerar en su conjunto el programa de investigaciones que ha trazado en su memoria en el mitin de Chicago E. A. Holbrook, superintendente de la estacion de Pittsburgh, programa que resumimos a continuacion.

Las investigaciones científicas tienen siempre por objeto final el descubrimiento de la verdad. Aplicadas a la ingeniería suministran nuevos principios, de los cuales derivan procedimientos que benefician a la humanidad desde el punto de vista material. El tipo de investigacion del ingeniero es, por consiguiente, la investigacion emprendida con objeto de obtener en primer lugar resultados aplicables directamente a la industria. El carbon es esencialmente la base del desarrollo de la industria moderna; toda investigacion relativa a la hulla puede, por consiguiente, conducir a conclusiones que permitan una mejor comprension de su naturaleza, de sus yacimientos; una explotacion racional i mas segura, una preparacion mas rigurosa, un mayor rendimiento en su utilizacion.

Las investigaciones modernas relativas a la ingeniería han sido efectuadas en su mayor parte en los laboratorios de las instituciones de enseñanza. Por esto algunas aplicaciones, tales como las resultantes de la química de la hulla, han alcanzado un desarrollo considerable. Ademas, los problemas, todos tan importantes, relativos a los procedimientos de explotacion han merecido poca atencion puesto que su solucion requiere un laboratorio mucho mas grande i mas costoso: la misma mina.

Si la química ha resuelto ya muchos problemas, la física, la ingeniería,

las ciencias económicas i fisiológicas están llamadas a resolver otros varios.

Seria un error creer que las investigaciones son nuevas en el dominio minero. En 1760, un volumen titulado *Chronicles of the Coal Trade of England* habla de la perniciosa costumbre de escojer el carbon. Por consiguiente, en esta época, en contra de la opinion del autor, se habian ya descubierto las ventajas que se sacan desde el punto de vista de la combustion de la clasificacion de la hulla. Se conocen igualmente las investigaciones de Davy i de Stephenson que les condujo al descubrimiento de la lámpara de seguridad.

Despues de las esperiencias de la guerra, es superfluo insistir sobre la importancia de los combustibles. Ahora se comprende la necesidad de evaluar los yacimientos i de utilizarlos de una manera intelijente.

Igualmente los grandes cambios de la industria, provocados por la guerra, han hecho aparecer por todas partes la importancia del papel del ingeniero. Los Gobiernos no titubean en alentar los trabajos de investigaciones.

El Ministerio de la Reconstitucion británica ha constituido muchas Comisiones relativas al arte del ingeniero.

Una de ellas se ocupa de la hulla i de la enerjía i debe examinar:

- 1.º Los perfeccionamientos de los métodos de estraccion;
- 2.º Los perfeccionamientos a aportar en la produccion de la enerjía bajo todas sus formas;
- 3.º La necesidad de buscar nuevos campos de explotacion o de desarrollar las explotaciones actuales.

El Gobierno ingles no ha economizado los créditos; hace llamamiento a la colaboracion de las industrias privadas i pone a su disposicion, para las investigaciones i mediante pago, los organismos oficiales.

Durante los diez últimos años, el *Bureau of Mines* de los Estados Unidos ha hecho investigaciones relativas a accidentes, ensayos de combustibles i máquinas empleadas en las minas; ha trabajado en la educacion de los mineros, respecto a su seguridad. Grandes progresos han sido realizados; otros se indagan; el *Bureau of Mines* parece apto para asegurar el éxito de estas investigaciones. El campo asignado a este es mui vasto i comprende:

- 1.º Las investigaciones sobre la constitucion de la hulla, su orijen, sus yacimientos. Este es el dominio del jeólogo i del químico;
- 2.º Las investigaciones relativas a la explotacion, teniendo por objeto acrecentar la seguridad i el rendimiento;
- 3.º Las investigaciones sobre la utilizacion del combustible i su preparacion;
- 4.º Las investigaciones sobre las cuestiones económicas referentes al carbon, especialmente el comercio de esportacion;

5.º Las investigaciones relativas a las relaciones humanas, relaciones industriales, mejoras sociales, obras de beneficencia.

M. Holbrook desarrolla despues cada una de estas divisiones del programa; las reasumiremos:

La jeología, la química, la física, la microscopía, la biología, deberán determinar con exactitud la naturaleza i el orijen del carbon; las leyes que rijen la presencia de impurezas en la hulla, impurezas tales como el azufre; se conoce poco su orijen, su distribucion, las formas bajo las cuales aparece, seria importante estar documentado sobre estos puntos de vista de la preparacion del carbon.

Conocemos mal el proceso de la formacion de la hulla; cuestiones de temperatura, de presion, de disolucion, han debido intervenir para obtener la hulla sólida que poseemos. La química-física encontrará, puede ser, la explicacion completa de esta formacion.

En fin, no es necesario insistir sobre la importancia, desde el punto de vista de una buena explotacion, del conocimiento profundo del yacimiento, jeológica i paleontológicamente.

Hai evidentemente que comprender en este dominio los trabajos preparatorios. Estos no pueden dar lugar a investigaciones numerosas sobre los métodos de escavacion de pozos i sobre sus revestimientos.

En los procedimientos de explotacion, un vasto campo de accion está todavia reservado a los medios mecánicos de arranque, de transporte. Se trata especialmente de estender el empleo de la electricidad.

Las máquinas de desagüe i de estraccion son todavia susceptibles de perfeccionamiento. Algun día quizás nos den las investigaciones un procedimiento para descubrir fácilmente los defectos ocultos de los cables.

Se podrá alcanzar un aumento de seguridad con el empleo de aparatos capaces de revelar los defectos del terreno.

El empleo de los esplosivos i la cuestion de los polvos dejan muchos problemas a resolver.

Los aparatos respiratorios deben hacerse mas prácticos.

La higiene de la mina es susceptible de mejoramiento.

Pueden ser aportados perfeccionamientos a las instalaciones de escojido i lavado establecidos en la mayor parte de los casos sobre datos físicos poco precisos.

La fabricacion del cok debe tambien progresar.

Cuando se sabe que de 5 a 15 por 100 solamente de la enerjía total del carbon es utilizada en la produccion de la enerjía, se comprende que hai aquí un vasto campo abierto a las invenciones i a los perfeccionamientos. La utilizacion del carbon pulverizado es un ejemplo de uno de estos progresos.

El atento estudio de los elementos del precio de coste, de la *standar-*

disation o unificación de la organización del trabajo, de los mercados, de las vías de comunicación puede conducir también a grandes mejoras de la industria hullera.

El *Bureau of Mines* de los Estados Unidos estará seguramente en estado de estudiar buen número de problemas así establecidos.

Nuestros industriales harán, por consiguiente, bien en seguir con atención los estudios que se efectúen, estudios de los cuales procuraremos tener al corriente a nuestros lectores.



Situación del Mercado de Metales i Minerales

Valparaíso, 26 de Febrero de 1920.

Cobre en barras.—Los precios de cobre Standard durante la pasada quincena permanecieron tranquilos hasta el día 23, habiendo sufrido solo pequeñas fluctuaciones, pero durante los últimos días los precios se han afirmado, resultando un alza de £ 1.12.6 sobre el precio a que cerramos nuestra última Revista.

Se dice que la demanda en Inglaterra continúa bastante activa, i las existencias en Enero han sido anunciadas oficialmente en 10,095 toneladas contra 14,881 toneladas en Diciembre. La reducción en las existencias de casi 5,000 toneladas ayudará sin duda a darle mucho más firmeza al mercado, especialmente se cree que gran parte de esta cantidad ya está vendida.

El movimiento de compra en el mercado americano durante las últimas semanas se entiende ha alcanzado grandes proporciones, i las ventas durante los últimos dos meses han excedido a 200,000 toneladas, de los cuales más o menos 20% ha sido para exportación. Las cotizaciones quedan ahora a 21 centavos para exportación i 19 3/4 centavos la libra para consumo doméstico.

Las cotizaciones recibidas de Londres al contado i para tres meses durante la quincena han sido las siguientes:

El día 13 del presente	£ 119.10.0	al contado i	£ 121. 7.6	para tres meses
» 16 » »	118. 5.0	»	120.15.0	» » »
» 17 » »	119.10.0	»	122. 0.0	» » »
» 18 » »	119. 5.0	»	121.15.0	» » »
» 20 » »	119.10.0	»	122. 5.0	» » »
» 23 » »	120.10.0	»	123. 0.0	» » »
» 24 » »	121. 0.0	»	123.12.6	» » »
» 25 » »	122.10.0	»	124.10.0	» » »

Cerrando hoi 26 del presente a £ 121.15.0 al contado i £ 124.10.0 para tres meses.

No se han efectuado ventas en la costa durante la quincena.

Las exportaciones de Chile hasta el 15 de Febrero de 1920 ascienden a 14,067 toneladas o sean 32 toneladas mas o ménos mas que lo esportado el año pasado en esta misma fecha.

Ejes de cobre.—Las ventas efectuadas han sido basadas sobre precios privados.

Minerales de cobre.—Las ventas han sido basadas sobre nuestras cotizaciones.

COTIZACIONES EL 26 DE FEBRERO DE 1920 A LAS 4.30 P. M.

	Por quintal métrico moneda corriente
<i>Cobre en barras.</i> —Puesto a bordo con flete de 150/.....	\$ 166.05
<i>Ejes de cobre.</i> —50% puesto a bordo con escala de 166 ctvs.	77.47
<i>Minerales de cobre.</i> —10% puesto a bordo con escala de 98 centavos.....	8.80
Standard £ 124.10.0	Cambio 15 1/8d.

Salitre.—El mercado ha tenido una nueva alza desde nuestra última Revista i se han pagado precios bastante altos. Hoi se abrieron las propuestas de la Asociacion de Productores de Salitre por 10,000 toneladas entrega Marzo, 40,000 toneladas Abril i 25,000 toneladas para entregas mensuales desde Mayo a Diciembre (total 75,000 toneladas). Aquí en la costa las propuestas han sido mui pobres, pues solamente se presentaron por 45,000 toneladas como sigue:

5,000 toneladas refinado entrega Agosto.....	17/5
15,000 » ordinario » Octubre-Diciembre	17/1
15,000 » » » Octubre-Diciembre	17/2
10,000 » » » Octubre-Diciembre	17/1½

Se esperan que las ofertas en Lóndres sean mucho mayor que las anteriores.

Ahora estamos en situacion de publicar la lista completa del reparto que resultó de las ofertas que se hicieron el 5 de Febrero.

Los negocios fuera de la Asociacion, durante la quincena han estado bastante activos.

Abrió con ventas entrega Febrero, Marzo, Abril a 17/6 pagándose este precio tambien para entregas Abril-Junio i una transaccion privada entrega Octubre se hizo a 17/9.

Este precio, sin embargo, no duró mucho, pues los compradores se retiraron del mercado i los vendedores entraron solicitando ofertas a precios mas bajos con el resultado que recientemente se han hecho ventas a 17/ i 17/1 para entregas inmediatas, habiendo vendedores que aceptaria 17/ para Abril-Junio. En calidad refinada no hemos sabido de venta alguna.

Lo esportado durante la primera quincena de Febrero fué de 2,732,900 quintales comparados con 636,900 quintales que se esportó durante el mismo período el año anterior, o sean 2,096,000 quintales ménos este año.

A juzgar por las varias estadísticas semestrales que recientemente han llegado de Europa, las perspectivas del mercado en lo futuro se presentan mui favorables i espresan que no hai razon para temer la competencia del salitre artificial por ningun motivo en los próximos dos o tres años.

La demanda de todas partes del mundo es mui grande i el consumo aumentará enormemente en América, Japon, Australia i España, sin tomar en cuenta los nuevos mercados que se han abierto desde que comenzó la guerra, i no será raro que la demanda puede exceder a la produccion una vez que la importacion a los diferentes paises se haga mas fácilmente.

Oro.—El premio diario (compradores) de la Bolsa durante la pasada quincena fué como sigue:

El dia	13	del presente	82.60%	Cambio	28 1/2d.
»	14	»	82%	»	28 3/16d.
»	16	»	82.50%	»	28d.
»	17	»	82.50%	»	27 7/8d.
»	18	»	83.50%	»	28 1/8d.
»	19	»	86.50%	»	28 1/4d.
»	20	»	85.50%	»	28d.
»	21	»	85%	»	28d.
»	23	»	84.80%	»	27 7/8d.
»	24	»	85.50%	»	27 3/4d.
»	25	»	86.80%	»	27 1/2d.

Cerrando hoi dia 26 del presente a las 4.30 P. M. a 85.50%. Cambio 27 3/4d.

Cambio.—El cambio abrió el dia 13 del presente a 15 7/16d. i bajó a 15 13/32d. al dia siguiente, pero el 16 subió a 15 15/32d. i 15 1/2d. el dia 17. El 18 del presente abrió a 15 9/32d. i bajó a 15 1/32d. al dia siguiente, quedando a este límite hasta el 21 del presente.

El 23 del presente abrió a 15 1/32d. para bajar al dia siguiente a 14 27/32d. reaccionando el dia 25 a 14 7/8d.

El cambio cierra finalmente hoi 26 del presente a las 4.30 P. M. a 15 1/8d. para letras de primera clase sobre Lóndres a 90 dias vista. Letras pagaderas en oro a 27 3/4d. El Banco de Chile jira a 14 25/32d.

Plata en barras.—La cotizacion recibida de Lóndres para entrega a tres meses fué de 80 7/8d.

Cotizamos la plata agria a \$ 39.15 por marco o \$ 170.22 por kilógramo fino puesto a bordo con cambio de 15 1/8d.

Carbon.—El mercado del carbon ha esperimentado una gran alza en el precio de carbon australiano debido a la escasez para conseguir flete, habiéndose transado un cargamento de West Wallsend salida Marzo-Abril a 120/ para Iquique.

Cotizamos Americano Costa Este 108/, Australiano 120/ i Nacional de 85/ a 98/ segun puertos, marcas i fechas de entregas.



Sociedad Nacional de Minería

Casilla num. 1807 — SANTIAGO — Moneda 759



Obras en venta:

Estadísticas

<i>Egaña.</i> —Informe anual sobre las minas de Chile en 1803.....	\$	5.00
<i>Hermann, Alberto.</i> —La producción en Chile de los metales i minerales mas importantes, de las sales naturales, del azufre i del guano, desde la conquista hasta fines de 1902.....		5.00
Estadística Minera de Chile.—Volumen I. Año de 1903.....		5.50
» » » — » II. » de 1904-1905....		6.50
» » » — » III. » de 1906-1907....		agotada
» » » — » IV. » de 1908-1909....		6.50
» » » — » V. » de 1910.....		6.50

Padrones de Minas

Padron Jeneral de Minas de 1897.....	\$	5.00
» » » de 1899.....		5.00
» » » de 1905.....		5.00
» » » de 1911-1912.....		5.00
» » » de 1913-1914.....		5.00
» » » de 1914-1915.....		5.00
» » » de 1915-1916.....		5.00

Carbon

<i>Brüggen, Dr. J.</i> —Informe sobre las exploraciones jeológicas de la rejion carbonífera del sur de Chile.....	5.00
<i>Brüggen, Dr. J.</i> —Los carbonos del valle lonjitudinal i la zona carbonífera al sur de Curanilahue en la provincia de Arauco.	5.00