

## Tesis de Posgrado

# El agua en los generadores de vapor

Vassalli, Miguel Ernesto

1912

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Vassalli, Miguel Ernesto. (1912). El agua en los generadores de vapor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0075\\_Vassalli.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0075_Vassalli.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Vassalli, Miguel Ernesto. "El agua en los generadores de vapor". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1912.  
[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0075\\_Vassalli.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0075_Vassalli.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

EL AGUA EN LOS GENERADORES DE VAPOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

**EL AGUA**  
EN LOS  
**GENERADORES DE VAPOR**

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN QUÍMICA

POR

MIGUEL ERNESTO VASSALLI



BUENOS AIRES  
OTERO & CO., IMPRESORES  
570 - VENEZUELA - 572  
1912

---

*La Facultad no se hace solidaria  
de las opiniones vertidas en las tesis.*

---

PADRINO DE TESIS

DOCTOR EDUARDO L. HOLMBERG

ACADÉMICO PROFESOR

Á LA MEMORIA

DE MI QUERIDO PADRE

Á MI QUERIDA MADRE

Á LOS MÍOS

*A mi querido y distinguido maestro, doctor Eduardo L. Holmberg, expreso públicamente mi intenso agradecimiento por el alto honor que me dispensa apadrinándome en este acto.*

*Al señor Agustín Barbagelata, Director de la Oficina Química Nacional, mi profundo reconocimiento por las facilidades que me ha dado para llevar á cabo la parte analítica de este trabajo.*





## Introducción

El agua es un factor indispensable para la vida de las industrias y puede decirse que no hay una sola que no se sirva de ella, ya sea al estado líquido como disolvente ó vehículo, enfriando ó nó en la composición misma de los productos fabricados, ó bien al estado de vapor aprovechando su fuerza elástica para producir el movimiento de los poderosos órganos de las máquinas.

Como las impurezas del agua dan lugar á serios inconvenientes en las diferentes industrias en que se aplica y como no siempre es posible tenerla poco cargada de sales, los industriales se han visto en la imprescindible necesidad de depurar sus aguas, ó mejor dicho, de corregirlas para asegurar la marcha regular de sus establecimientos.

La calidad de las aguas de alimentación de los generadores de vapor tiene particular importancia por los efectos que producen. Efectivamente, las sustancias que tienen en disolución se depositan formando lo que se llama incrustaciones, muy malas conductoras del calor, sobre las paredes ó los tubos de las calderas, disminuyendo su poder y aumentando el consumo del combustible, pudiendo provocar serios perjuicios como son las explosiones. Además otras sales se descomponen dando ácidos en libertad y corroen fuertemente al fierro de las paredes originando escapes.

Estos inconvenientes se traducen en un aumento de

los gastos causado por el consumo exagerado de combustible, la limpieza y las reparaciones de la caldera, etc. Es para resolver el problema que estas cuestiones plantean, que se ha preconizado el empleo de numerosos y variados procedimientos; siendo sobre todo el químico, el técnico más habilitado para asesorar á la industria, en esta cuestión tan compleja.

El estudio de la composición de las aguas, los efectos debidos á cada uno de sus componentes, la manera de prevenir los inconvenientes apuntados, la forma de atenuar ó anular los efectos producidos por un agua no apropiada, el método para calcular los elementos depuradores, etc., y tratar en particular algunos casos de nuestro país, constituyen el objeto del presente trabajo.

Para su desarrollo, he seguido el siguiente plan:

1.<sup>a</sup> parte. — El agua en los generadores de vapor.—  
Sus efectos.

2.<sup>a</sup> parte. — Los medios de evitar esos efectos y el cálculo de los reactivos empleados.

3.<sup>a</sup> parte. — Análisis de algunas aguas y de las incrustaciones producidas por las mismas.

Conclusiones.

## PRIMERA PARTE

---

# El agua en los generadores de vapor

En la Naturaleza las aguas no son puras, contienen siempre cuerpos extraños, debido á su poder disolvente y su composición es extremadamente variable.

Las aguas que alimentan á los generadores de vapor se pueden clasificar por los efectos que producen en:

1.º — Aguas incrustantes (calcáreas y selenitosas) y

2.º — Aguas corrosivas é incrusto-corrosivas (de mar, de mina, grasosas).

Llámase aguas calcáreas las que contienen en solución más de 0.5 gramos de carbonato de calcio por litro, y selenitosas aquellas que contienen más de 0.2 grs. de sulfato de calcio.

Cuando se evapora un agua natural en un generador de vapor, no se forma como en un vaso abierto, un residuo salino cuya composición corresponde á las materias fijas del agua empleada, sino un depósito de composición variada aunque estrechamente ligada á la de aquélla, más ó menos abundante, más ó menos duro, que puede quedar en suspensión bajo forma de barro ó adherirse á la pared del generador. En una caldera se pro-

ducen descomposiciones, recombinaciones, doble descomposiciones y estados de equilibrio que variarán por la entrada de nuevo líquido y por las diferencias experimentadas por los factores presión y temperatura.

Es por esta causa que esos depósitos no son homogéneos y que varían de un punto á otro de la caldera, y así lo demostró Cousté que examinando una caldera, encontró en las partes menos expuestas al fuego, pequeñas cantidades de carbonato y sulfato de calcio, en las más expuestas, sulfato de calcio casi en su totalidad, y en las intermedias, 90 o/o de carbonato de calcio.

### INCRUSTACIONES

Llámanse incrustación á esos depósitos duros, formados en su mayor parte de sales calcáreas y magnésicas que dan lugar á los graves inconvenientes que he citado.

El fenómeno de las incrustaciones se debe á dos clases de sales: 1.º los bicarbonatos y 2.º el sulfato de calcio.

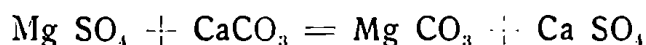
En un agua calcárea el carbonato de calcio es disuelto, gracias al anhídrido carbónico libre, formando el bicarbonato cálcico soluble, que á la ebullición precipita de nuevo el carbonato por eliminación del anhídrido carbónico. El carbonato así precipitado es un polvo sin tendencia á hacerse compacto, no ofreciendo mayores peligros, pues queda en el seno del líquido; sólo el carbonato neutro que disuelve el agua (0.03 grms. por litro), va disminuyendo á medida que la temperatura aumenta, siendo insoluble á 150° que se deposita al estado cristalino, tanto más adherente cuanto más presión haya.

El carbonato de magnesio se disuelve más fácilmente todavía que el de calcio por el anhídrido carbónico. A la ebullición precipita el carbonato, que á una temperatura relativamente elevada se descompone en magnesia y anhídrido carbónico.

La solubilidad del sulfato de calcio es máxima á los 35°C y disminuye á medida que aumenta la temperatura,

depositándose completamente á los 140°, formando (1) incrustaciones estratificadas muy duras y adherentes, que son anhídras que están sobre la pared vecina al fuego ó hidratadas ( $\text{Ca SO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ), las que se depositan sobre aquéllas y sobre las paredes alejadas del hogar. La solubilidad del sulfato de calcio es aumentada por la concentración de otras sales principalmente por los cloruros y nitratos.

El sulfato de calcio puede ser formado por el sulfato de magnesio y el carbonato de calcio, según la reacción:



Si además de sulfatos, hay carbonatos alcalino-térreos, éstos, que de por sí no forman sino incrustaciones, de las llamadas blandas, poco nocivas, que se eliminan vaciando la caldera, se depositan sobre el sulfato de calcio que cristaliza en agujas largas y entrecruzadas, haciendo entonces más compacto y más duro el depósito adherente.

La sílice libre y la precipitada de los silicatos forma también incrustaciones duras y muy adherentes, que se incorpora al depósito y hasta desaloja á los ácidos menos fijos (2), como lo es el carbónico, combinándose con las bases.

En cuanto á las materias en suspensión que contienen las aguas naturales y esos depósitos blandos que se forman en las calderas, aunque no tan peligrosas como las incrustaciones, impiden la transmisión del calor y pueden originar los golpes de fuego y accidentes graves, como ser: quemadura de las paredes, escapes, pequeñas explosiones y cuando el vapor sale tumultuosamente pueden ser arrastradas y rayar las paredes de los cilindros de las máquinas ó perjudicar á otros empleos industriales del vapor.

Esas materias en suspensión y los jabones de calcio y magnesio que pueden formarse por la introducción accidental de materias grasas, producen en la superficie

(1) *Annales de Mines* - 1854 pág. 69.

(2) J. J. J. KYLE - *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 1887 pág. 64.

del agua una capa de espuma que á veces alcanza á la parte superior de la caldera. Esta capa aisladora produce un sobrecalentamiento y por fin un achatamiento del cielo de la caldera. Además esas espumas provocan la ebullición tumultuosa y por consiguiente, la salida de impurezas con el vapor y con los perjuicios que acabo de citar.

Las incrustaciones pueden dar origen á las explosiones con peligro de las vidas de los obreros y de la estabilidad del material de la fábrica. En efecto, como son muy malas conductoras del calor, las paredes expuestas al fuego se ponen rojas, sin que á veces el agua, que no está en contacto de la pared, entre en ebullición, y si por cualquier causa, esas incrustaciones se despegan ó se produce una grieta, el agua al contacto de la pared roja, toma el estado esferoidal; una volatilización intensa y brusca se produce que puede ocasionar la explosión de la caldera y en todo caso el desgaste de la pared por las diferencias de dilataciones.

### CORROSIONES

Las calderas sufren dos clases de corrosiones, una exterior debida al aire y al combustible, cuyo estudio no pertenece al presente trabajo, y una interior debida á las aguas empleadas.

En efecto, las aguas naturales en general corrompen más ó menos las paredes de las calderas que alimentan, por el oxígeno y anhídrido carbónico y además por ciertas sales que tienen en disolución.

Las corrosiones de las paredes de los generadores pueden ser: en pústulas, en placas y en hendiduras.

Las en pústulas son cavidades aisladas llenas de óxido férrico y de otras sales del agua. Esas cavidades se forman generalmente lejos del hogar y en donde el agua no sufre los sobresaltos de la ebullición.

Las en placas son superficies atacadas y recubiertas por depósitos; generalmente se forman sobre las paredes sometidas á la acción directa del fuego.

Las en hendiduras son producidas por las flexiones

á que están sometidas ciertas piezas, formándose fallas en el metal, y es ahí donde el agua actúa más fácilmente.

El hierro es más difícil de ser corroído que los aceros, y entre los distintos fierros, los más puros son los más atacados. Las paredes de cobre son débilmente atacadas.

Casi todas las aguas naturales son más ó menos corrosivas, como bien se verá más adelante, por la acción de las distintas sales y gases sobre el metal del generador.

Las más corrosivas son las aguas de mar y de mina, que son las que contienen mayor cantidad de sales, y por lo tanto, son las más incrustantes y se pueden considerar como aguas incrusto-corrosivas por sus dos efectos.

*Corrosión por el oxígeno y el anhídrido carbónico.—*

En muchas calderas á vapor se había notado que las paredes habían sido atacadas sin que existieran en las aguas que las alimentaban sustancias corrosivas. Esos ataques fueron explicados como debidos á la acción de los gases disueltos (oxígeno y anhídrido carbónico) sobre el Fe de las paredes.

Las experiencias de Scheurer-Kestner y Meunier-Dolfus de Mulhouse demostraron esa acción.

Llenaron tres frascos de diez litros, de agua, en el primero muy aereada sin sales calcáreas, en el segundo aereada con sales calcáreas y en el tercero agua destilada recién hervida. En cada frasco introdujeron una barra de Fe bien limpia y pulida. La observación de cada frasco dió el siguiente resultado: en el 1.º, oxidación del Fe hasta que no hubo más aire y la barra limpia y vuelta á poner no fué más atacada; en el 2.º, igual al 1.º, pero mucho más lento, de modo que las sales calcáreas retardan la oxidación, y en el tercer frasco no hubo ataque.

Más tarde Crau-Calvert, de Manchester, hicieron otras experiencias y llegaron á la siguiente conclusión: el Fe no es oxidado en atmósfera de oxígeno y anhídrido carbónico secos, como tampoco en el anhídrido car-

bónico húmedo, pero sí en el oxígeno húmedo. Con oxígeno y anhídrido carbónico húmedos se formó primero óxido férrico, luego carbonato y por fin una mezcla de óxido é hidrato férrico.

*Corrosión por los ácidos.* — En ciertos casos muy raros se utilizan aguas ácidas, no habiendo tenido tiempo esa acidez de neutralizarse con los elementos de las rocas que atraviesa.

Como se verá en seguida, ciertos ácidos pueden formarse en el interior de la caldera como productos de descomposición de sales correspondientes, de modo que trataré primero la acción de esos ácidos sobre las paredes de las calderas, y luego de la descomposición de esas sales.

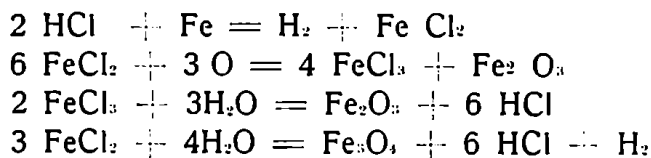
*Acido clorhídrico.* — Ataca al Fe formándose cloruro ferroso que se oxida rápidamente dando óxido y cloruro férrico.

Este último, merced á la acción del vapor de agua, se descompone regenerando el ácido clorhídrico.

El cloruro ferroso puede también regenerar el ácido clorhídrico en presencia del vapor de agua y á una alta temperatura.

El ácido clorhídrico así regenerado ataca á otra porción del Fe con producción de las sustancias que acabo de citar, las cuales se descomponen dando nuevamente ácido clorhídrico en libertad, y así sucesivamente. Además, el óxido férrico (1) formado, es un cuerpo corrosivo por su propiedad higroscópica y como electro positivo con relación al fierro de las paredes.

Resumiendo las reacciones que tienen lugar son:

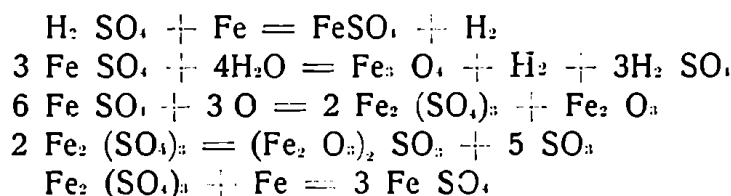


(1) H. DE LA COUX - *L'eau dans l'industrie.*

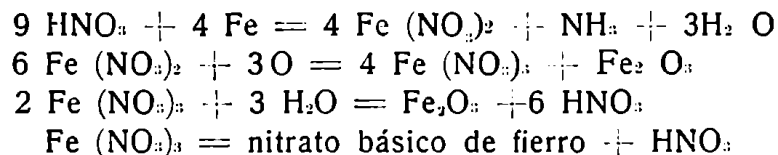


*Acido sulfúrico.* — Actúa del mismo modo que el ácido clorhídrico. Además el sulfato férrico, por el vapor de agua y á una alta temperatura se descompone en ácido sulfúrico que ataca nuevamente, y en sulfato férrico básico que es reducido como todas las sales férricas por el fierro de la caldera, dando sulfato ferroso.

He aquí las relaciones á que da lugar el ácido sulfúrico que, como el anterior y el nítrico, son verdaderos ciclos de acción:



*Acido nítrico.* — Actúa en la misma forma que los dos anteriores:

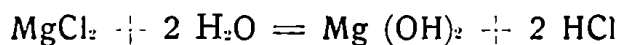


*Corrosión por las sales.* — Como se acaba de ver, hay ciertas sales que son susceptibles de descomponerse dando ácidos en libertad. Además de estas sales, las aguas naturales encierran otras que en las condiciones á que son sometidas en el interior de las calderas pueden dar origen á ataques más ó menos intensos de las paredes.

La formación de los ácidos correspondientes á esas sales descompuestas, implica á su vez la formación de sales ferrosas y férricas del ácido puesto en libertad, en detrimento del Fe de las paredes del generador, de modo que no insistiré sobre ello y se entiende que una vez formado el ácido tendrán lugar las reacciones del mismo que acabo de citar.

*Cloruros.* — Ya se ha visto la acción de los cloruros ferroso y férrico, pero el más corrosivo de todos y que se debe evitar por los graves perjuicios que ocasiona es el cloruro de magnesio.

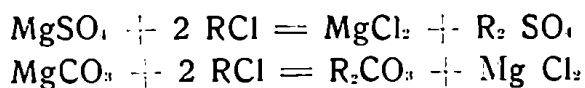
A 100° se descompone en presencia del agua precipitando hidrato de magnesia y dando ácido clorhídrico en libertad que se esparce en el agua y en el vapor, atacando las paredes y si es arrastrado por el vapor corre las cañerías y cilindros de las máquinas.



La corrosión es á veces en pústulas, bien sea en las paredes bañadas por el agua, ó bien sea las en contacto con el vapor.

En el primer caso se debe á que al precipitar otras sales es englobado el cloruro de magnesio que se descompone al contacto de la pared caliente; y en el vapor, cuando el agua salpica sobre las paredes y al evaporarse queda el residuo sobre ellas, y el cloruro de magnesio se descompone dando nacimiento al ácido clorhídrico que ataca al fierro.

Es bueno tener en cuenta que el cloruro de magnesio, puede originarse en el interior de la caldera por descomposición del sulfato ó del carbonato de magnesio en presencia de otros cloruros:



El cloruro de sodio en presencia del vapor de agua y de la sílice da lugar al ácido clorhídrico con la acción sobre el fierro que ya se ha visto.

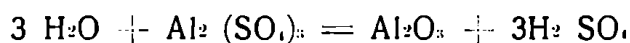


El ácido clorhídrico puede ser originado también por la descomposición del cloruro de amonio.

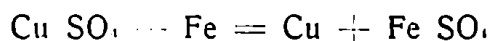
*Sulfatos.* — Son varios los sulfatos que se descomponen en el interior de los generadores para dar nacimiento al ácido sulfúrico.

Estos sulfatos se encuentran en solución en las aguas naturales, por la acción de éstas sobre las rocas que atraviesan y muchos son producidos por la descomposición de las piritas por la acción simultánea del agua y del aire, formándose sulfatos metálicos y ácido sulfúrico libre que actúa sobre las rocas vecinas.

El sulfato de aluminio da lugar á las mismas transformaciones que el férrico:



El sulfato de cobre actúa sobre el fierro de las paredes, dando sulfato ferroso, cuerpo corrosivo como se ha visto:



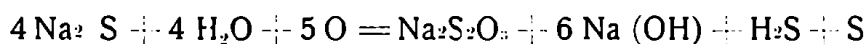
El Cu se deposita sobre las paredes de la caldera.

Petit constató (1) que el fierro es atacado aún en frío por el sulfato de potasio y el ataque es mayor si el agua contiene anhídrido carbónico.

*Sulfuros.* — Algunas aguas contienen hidrógeno sulfurado y sulfuros alcalinos. Estos últimos pueden formarse en las calderas por la reducción de los sulfatos por las materias orgánicas.



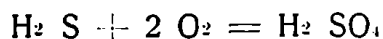
Los sulfuros se disocian fácilmente:



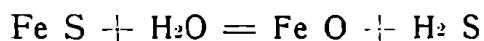
El hidrógeno sulfurado así producido, en las condi-

(1) H. DE LA COUX pág. 131

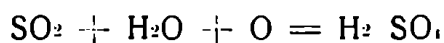
ciones á que se halla sometido en una caldera, puede oxidarse dando ácido sulfúrico:



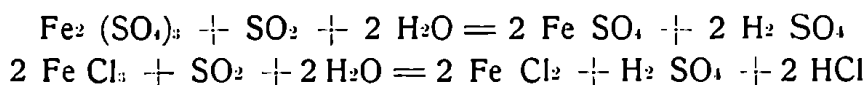
El ácido sulfhídrico puede atacar al fierro dando sulfuro ferroso ó hidrógeno. Este sulfuro se disocia regenerando el hidrógeno sulfurado:



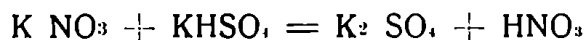
*Sulfitos.* — El ácido sulfuroso se oxida muy fácilmente, asimismo en agua hervida dando ácido sulfúrico.



El anhídrido sulfuroso reduce el sulfato y cloruro férrico dando la sal correspondiente y ácido sulfúrico y clorhídrico, como se ve en las reacciones:



*Nitratos.* — Además del nitrato férrico, sal corrosiva, como he hecho notar, los demás nitratos son capaces de producir ácido nítrico en presencia de una sal ácida:



La acción del ácido clorhídrico y del ácido nítrico que se pueden formar por las reacciones anteriores, es enorme cuando se producen al mismo tiempo, por el agua regia á que dan lugar.

*Grasas.* — Se creyó en un principio que alimentando las calderas con aguas de condensación, el mal de las incrustaciones y de las corrosiones quedaba eliminado, pero bien pronto se notó que los golpes de fuego aumentaban y que las calderas eran corroídas más ó menos rápidamente, y hasta se agujereaban.

Estos fenómenos son debidos á que se utilizaban para lubricar los cilindros sustancias grasas animales ó vegetales que son descompuestos en parte por el vapor de agua en ácidos grasos (ácido oleico principalmente) y en glicerina. Estos cuerpos y la otra parte de las sustancias grasas no descompuestas son arrastrados por el vapor y van á los condensadores y de aquí á las calderas. Los ácidos grasos atacan al fierro de éstas, formando los jabones de fierro correspondientes, que con la temperatura precipitan el óxido férrico, dejando en libertad á los ácidos que actúan nueva é indefinidamente. El ataque del fierro por los ácidos grasos es facilitado por la elevación de la temperatura y es mayor en donde el agua es más tranquila. Además los cuerpos grasos no descompuestos arrastrados á la caldera forman con las sales de calcio y magnesio jabones que precipitan. El de calcio no es muy nocivo porque es blando y queda en suspensión en el líquido, sólo estorba cuando su cantidad es elevada y origina los golpes de fuego, pero el de magnesio es pulverulento y se deposita sobre la pared de la caldera y como no se deja mojar por el agua, las paredes se sobrecalientan sin estar en contacto con el líquido, hasta que el jabón á una cierta temperatura se descompone y el agua al contacto de la pared roja produce el estado esferoidal, con peligro de explosión y en todo caso siempre con desgaste de la pared.

Estos inconvenientes debidos á las sustancias grasas saponificables no existen si se utilizan en el engrasamiento de los cilindros, aceites minerales aunque sean arrastrados por el vapor á los condensadores y de aquí á los generadores. A otra clase de fenómenos dan lugar, y es la formación de una capa adherente que provoca el sobrecalentamiento de las paredes, lo que se evita separando por un medio físico esos aceites del agua de condensación.

Hetet (1) recomienda para evitar la entrada de las sustancias grasas á la caldera, de tratar las aguas de

(1) *Annales de chimie et de Physique*, Tomo 13 pág. 33 — *Comptes Rendus* t. 85, p. 702 *Bulletin de la S. Chimique de Paris*, 1878 t. 1 pág. 189.

condensación por la cal. Con los ácidos grasos se forman los jabones correspondientes, que son fácilmente arrastrables á los generadores, pero, como ya se ha dicho, no son adherentes.

En cuanto á las materias grasas no descompuestas, son empastadas por el agua de cal y forman un magma butiroso que queda en la caja en donde se hace la reacción.

*Por soluciones azucaradas.* — En algunas refineries de azúcar que alimentaban las calderas con aguas de condensación, se notaron corrosiones, y Klein y Berg (1) constataron que se debían á la acción de los azúcares introducidos accidentalmente.

El azúcar bajo la influencia del calor (2) y de la presión, se transforma en compuestos orgánicos ácidos y en carbón muy puro que se deposita en el generador. Los ácidos atacan al metal y el depósito formado puede contener carbón y fierro muy dividido.

Dichos autores comprobaron que en tubos cerrados, con prismas de fierro pesados, el líquido azucarado, pasando 100° tomaba un color pardo verdoso y no tardaba en tomar una reacción ácida bien marcada. Al mismo tiempo el fierro se disuelve en proporción notable. Hicieron ensayos con plomo, zinc y cobre, en las mismas condiciones, siendo el zinc muy atacado, el plomo menos y casi nada el cobre.

Los líquidos eran ácidos y en algunos se produjo una fuerte producción de hidrógeno.

Otras experiencias demostraron que, la goma y la dextrina atacan al fierro pero mucho menos que el azúcar.

Algunos creen que estas corrosiones eran debidas á la mala calidad del fierro.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XI, pág. 5

(2) C. FRIBOURG, *L'analyse chimique en Sucrieries*.

## SEGUNDA PARTE

---

### Procedimientos para evitar las incrustaciones y las corrosiones

Como el picado de las calderas, de que hablaré más adelante, es costoso y largo, y como no siempre se dispone de un agua poco cargada de sales incrustantes y corrosivas, se ha tratado desde hace mucho tiempo de impedir las incrustaciones y las corrosiones por tres métodos distintos:

1.º — Por la depuración preliminar de las aguas, que es el mejor de todos ellos, aunque no evita completamente esos depósitos, pero son fácilmente sacados por evacuación y lavaje á presión si son blandos; y en el caso contrario, por simple raspaje con aparatos automáticos, seguido de lavajes.

2.º — Por los antiincrustantes que son sustancias introducidas en el interior de las calderas.

3.º — Por dispositivos especiales anexados á los generadores que localizan las incrustaciones y las corrosiones.

## DEPURACION PRELIMINAR DE LAS AGUAS

Los distintos métodos consisten en agregar á las aguas, sustancias químicas con el objeto de eliminar las sales nocivas ó á transformarlas en otras que no lo son.

Propiamente hablando, esas sustancias sirven para corregir las aguas y no para depurarlas.

Todos los procedimientos de depuración preliminar para las aguas potables, son buenos para las que sirven á la alimentación de las calderas. Muchos otros procedimientos se utilizan según la calidad de las aguas á emplear, de modo que trataré de los principales sin hablar de los aparatos especiales que ayudan su efecto y cuya descripción se encuentra en los tratados de máquinas á vapor.

Todos los métodos seguidos actualmente son más ó menos buenos, pero ninguno es óptimo. Además es necesario para que den buenos resultados, conocer la composición exacta del agua, dada por el análisis químico, para usar las dosis convenientes, y tener en cuenta la acción simultánea de las distintas sales, que, si bien es cierto, algunas no ofrecen ningún peligro cuando se encuentran solas, son de un efecto pernicioso cuando están en presencia de otras, por las transformaciones secundarias, ayudadas por fenómenos físicos.

Los métodos de depuración se clasifican en dos grupos:

1.º — Físicos.

2.º — Químicos.

Hay algunos que pertenecen á los dos grupos.

*Depuración por métodos físicos.* — Para eliminar las sustancias en suspensión que en ciertos casos son considerables, se emplea la decantación, que es una operación larga é incompleta y que necesita grandes lugares para colocar las cubas. Puede acelerarse la clarificación con materias coagulantes, como por ejemplo: sales de aluminio, fierro, etc. siendo muy usado el alumbre.

La filtración se practica haciendo pasar el agua á través de sustancias, que retienen las materias en sus-



pensión. En todos los procesos de filtraciones intervienen reacciones químicas (1), aun cuando se emplean sustancias inertes como son las arenas, arcillas, caolines, carbón, etc., que modifican la composición de los líquidos que los atraviesan.

El calor facilita la precipitación de los carbonatos alcalino-térreos y la destilación da el agua químicamente pura.

En la República, ciertas industrias destilan agua y la mezclan al agua natural para disminuir sus efectos.

*Depuración por métodos químicos.* — Para evitar las sales de calcio y de magnesio incrustantes se emplean estos métodos que consisten en tratar las aguas por sustancias químicas que tienden á suprimirlas ó á transformarlas en otras que forman depósitos blandos no adherentes y fáciles de eliminar.

Entre esas sustancias se encuentran: los ácidos, los álcalis, carbonato de sodio, cloruro de bario, oxalatos, etc., etc., muchas de las cuales eliminan ó transforman las sales corrosivas en otras que no lo son.

*Por los ácidos.* — En Inglaterra y en Norte América es muy usado el ácido clorhídrico que descompone los carbonatos térreos dejando intacto el sulfato de calcio, que, como se sabe, es la sal que da las incrustaciones más duras. Debe ser empleado en las cantidades teóricas, pues un exceso atacaría á las paredes de los generadores.

Para eliminar el cloruro de magnesio que puede formarse por este tratamiento se hace pasar el agua ya tratada por un filtro (2) de carbonato de bario natural (whiterita). Se forma cloruro de bario y desprendimiento de anhídrido carbónico. El cloruro de bario formado actúa sobre el sulfato de calcio precipitando sulfato de bario.

Hay varios inconvenientes, procedimiento costoso

(1) GUARESCHI—*Nuova Enciclopedia di Chimica*.

(2) E. DELHOTEL—*Epuration des eaux naturelles et industrielles*.

y el filtro es atacado por el exceso de ácido y sus poros son obstruidos por el sulfato de bario que se deposita lentamente.

El ácido sulfúrico no se usa porque se forma sulfato de calcio muy incrustante. El ácido nítrico es costoso.

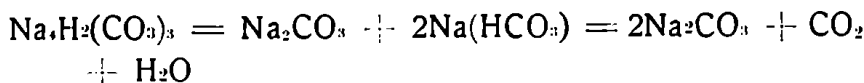
*Por el carbonato de sodio.* — Es una de las sales que ofrece las mayores ventajas por su precio muy bajo y porque la mayor parte es constantemente regenerada. Evita á la vez las incrustaciones y corrosiones eliminando el sulfato de calcio y las sales de magnesio. El cálculo del reactivo es fácil y rápido y un pequeñísimo exceso alcaliniza el agua impidiendo la oxidación de las paredes.

Las reacciones á que dan lugar son las siguientes:

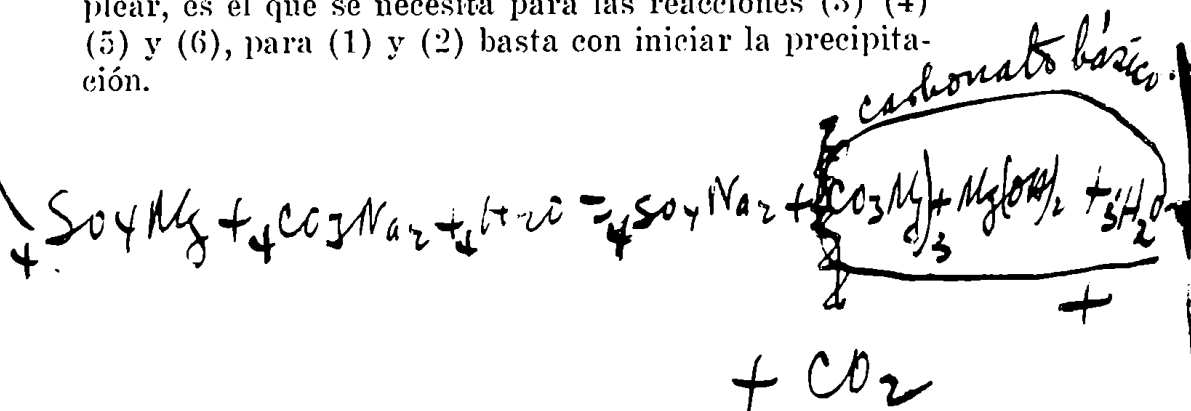
- (1)  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{H}_2(\text{CO}_3)_2$
- (2)  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{MgCO}_3 + \text{Na}_2\text{H}_2(\text{CO}_3)_2$
- (3)  $\text{CaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3$
- (4)  $n\text{MgSO}_4 + n\text{Na}_2\text{CO}_3 + n'\text{H}_2\text{O} = (\text{carbonato básico de magnesio}) + n\text{Na}_2\text{SO}_4 + n''\text{CO}_2$
- (5)  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$
- (6)  $n\text{MgCl}_2 + n\text{Na}_2\text{CO}_3 + n'\text{H}_2\text{O} = (\text{carbonato básico de magnesio}) + 2n\text{NaCl} + n''\text{CO}_2$

Para las dos primeras reacciones en frío la precipitación es completa, para las demás es necesario una temperatura vecina de 70°.

El sesquicarbonato de sodio que se forma en (1) y (2) es inestable en caliente y regenera el carbonato de sodio:

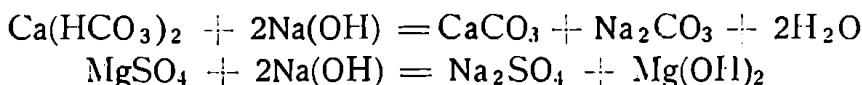


De modo que el carbonato de sodio que hay que emplear, es el que se necesita para las reacciones (3) (4) (5) y (6), para (1) y (2) basta con iniciar la precipitación.



El método es muy bueno cuando se usan las cantidades convenientes, pues un gran exceso de reactivo provocaría la corrosión de las paredes de los generadores.

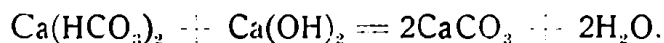
*Por la soda ó potasa.* — Estos álcalis actúan sobre los bicarbonatos de calcio y magnesio y sulfato de magnesio dando origen al carbonato correspondiente al álcali empleado, con las reacciones que acabo de citar.



El empleo de estos álcalis es costoso y es preferible sustituirlos por el carbonato de sodio que da mejores resultados.

*Por la cal.* — Es uno de los métodos más antiguos y el primitivo de Clark ha sido modificado.

El método consiste en hacer actuar una lechada de cal sobre el agua, que precipita los bicarbonatos, dejando intactos los sulfatos y demás sales dañosas.

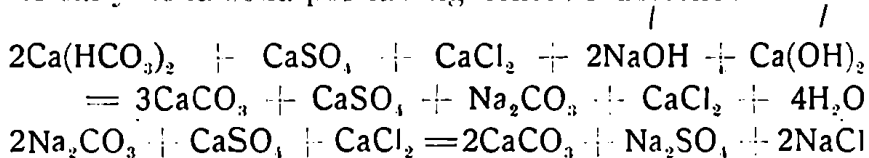


Como un exceso de reactivo es perjudicial y usando las cantidades teóricas la precipitación es lenta, muchos industriales la facilitan con aparatos especiales.

*Por la cal y la soda.* — El método de Clark no elimina los sulfatos y demás sales nocivas, entonces se ha combinado la acción de la cal con la de la soda ó mejor con la del carbonato de sodio.

El método de Clark empleaba la lechada de cal de título variable é incierto, hoy ha sido sustituida por el agua de cal.

Se puede representar la acción simultánea del agua de cal y de la soda por las siguientes reacciones:

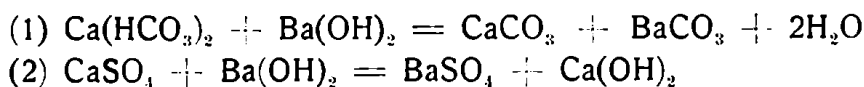


Como se ve, precipita el carbonato de calcio insoluble, quedando en solución sulfato de sodio y cloruro de sodio que no ofrecen mayores inconvenientes.

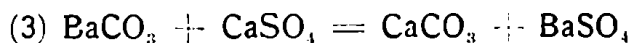
Siendo el óxido de calcio muy poco soluble la cantidad de reactivo puede ser considerable cuando las sales del agua están en cantidades elevadas, lo que es un inconveniente.

El procedimiento es bueno, pero un exceso de reactivo produciría trastornos. Si hay exceso de agua de cal, con las grasas que pueden entrar en la caldera, se formarían jabones perjudiciales para el buen funcionamiento de la caldera y si hay un exceso de soda, haría el agua muy liviana y fácilmente arrastrable por el vapor con peligro de la duración de las cañerías, robineterías, etcétera.

*Por el hidrato y el cloruro de bario.* — La barita actúa sobre el bicarbonato y el sulfato de calcio:

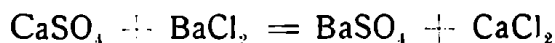


El carbonato de bario actúa sobre el sulfato de calcio:



Si solo se produjeran las reacciones (1) y (3) los precipitados son fáciles de eliminar y el agua es buena para la alimentación de calderas, pero la (2) da el hidrato de calcio soluble que corroe las paredes.

Se evita este inconveniente agregando cloruro de bario para la precipitación del sulfato de calcio:

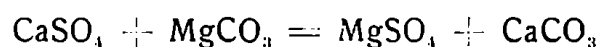


El procedimiento es costoso y no resulta conveniente cuando hay sulfato de magnesio que con el cloruro de bario forma cloruro de magnesio, que es muy corrosivo.

*Por el hidrato de calcio y el cloruro de bario.* — El primero de estos cuerpos elimina los bicarbonatos y el cloruro de bario los sulfatos.

A este método se le hacen las mismas objeciones que al anterior.

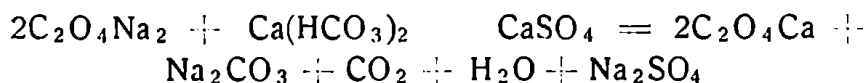
*Por la magnesia.* — Preconizado por Bohlig, Heyne y Derschan (1) y se basa en la precipitación de los bicarbonatos térreos al estado de carbonatos. El carbonato de magnesio formado actúa sobre el sulfato de calcio precipitando carbonato de calcio.



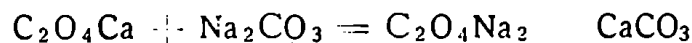
Siendo esta reacción secundaria es necesario saber si la cantidad de bicarbonato es superior á la de sulfato de calcio para que la precipitación sea completa. En caso de que la cantidad sea inferior se debe agregar carbonato de magnesio para que todo el calcio del sulfato se transforme en carbonato.

El procedimiento es costoso y es peligroso si hay cloruros por la formación de cloruro de magnesio.

*Por los oxalatos alcalinos.* — Estos actúan sobre el bicarbonato y el sulfato de calcio:



El carbonato de sodio formado actúa á su vez en la forma conocida y el oxalato alcalino puede ser regenerado agregando una solución de carbonato sódico llevada á la ebullición:



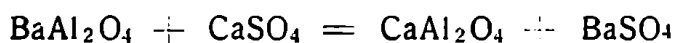
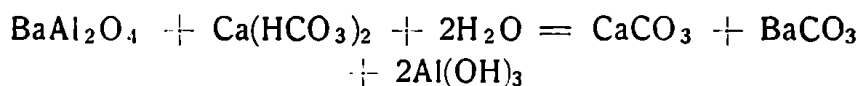
Por las reacciones expuestas se ve que llevando bien la operación y calculando exactamente el reactivo y re-

(1) H. DE LA COUX—*L'eau dans l'industrie.*

generándolo con agregación del carbonato de sodio es un procedimiento económico (1) pero no aplicable á la industria, pues requiere manipulaciones largas y complicadas (2).

El más empleado es el oxalato de sodio por resultar más barato (3).

*Por el aluminato de bario.* — Precipita el bicarbonato y el sulfato de calcio:



El aluminato de bario es más bien empleado como antiincrustante.

*Por sales de fierro ó aluminio.* — El empleo de las sales de fierro y aluminio (cloruros, sulfatos) y principalmente el alumbre ordinario se basa en la precipitación del óxido correspondiente que arrastra consigo las materias y precipitados en suspensión, formando lacas y clarificando el agua rápidamente.

### ANTIINCRUSTANTES

Para evitar las incrustaciones y las corrosiones se emplean muy á menudo sustancias que se introducen en las calderas á vapor y que se expenden en el comercio bajo el nombre de desincrustantes ó antiincrustantes ó tartrífugos y á un precio muy elevado con relación al de su costo.

Los desincrustantes, propiamente hablando son aquellas sustancias destinadas á destruir la incrustación

(1) H. DE LA COUX—*L' eau dans l' industrie.*

(2) G. BOURREY—*L' eau dans l' Industrie* y R. BERNARD—*Le moniteur scientifique.* Enero 1912.

(3) E. DELHÔTEL—*Epuration des eaux naturelles et industrielles.*

ya formada, mientras que los antiincrustantes ó tartrífugos son los destinados á impedir esa incrustación (1).

Muy lejos de su objeto la mayoría de los antiincrustantes dan lugar á inconvenientes y casi siempre aumentan el volumen de los depósitos y en ningún caso los disminuye.

En los prospectos de esas sustancias se indican las dosis y modos de empleo, sin tener en cuenta la composición de las aguas á que van á ser aplicadas.

Esta observación bastará para notar la ineficacia de los antiincrustantes, sin embargo en determinados casos dan buenos resultados, como es lógico suponer, si se usan los apropiados y en las cantidades convenientes.

Cuando no se dispone de medios para utilizar el procedimiento de depuración preliminar más ventajoso, el uso del antiincrustante se impone, pues bien empleado atenúa la incrustación y la hace blanda y fácil á evacuar, sin tener necesidad del picado de la caldera y ésta puede durar mucho más tiempo que alimentada con el agua natural. Para que el antiincrustante dé el mayor provecho posible se debe emplear en las cantidades que el agua requiere. Generalmente en las fábricas, el maquinista á cargo de la caldera, tiene su régimen particular dictado por la observación y algunos ensayos. Muy pocos son los que usan esas sustancias en las cantidades teóricas no sacando por consiguiente todo el provecho posible.

Los antiincrustantes pueden actuar de dos modos distintos:

1.º Físicamente.

2.º Químicamente.

Hay muchos antiincrustantes que actúan física y químicamente á la vez.

Los que actúan físicamente lo hacen de una manera mecánica, son sustancias inertes que impiden la adherencia de la incrustación. Hoy día su empleo ha sido casi abandonado porque absorben calor, aumentan el volumen del líquido y muchos de ellos son livianos y fá-

(1) G. BOURREY—*L' eau dans l' industrie.*

cilmente arrastrables por el vapor con perjuicio de la duración de los órganos de las máquinas. Entre esas sustancias se encuentran: la arcilla, tafeo, vidrio machacado, cuerpos grasos, materias amiláceas, etc.

Muchas de esas sustancias sometidas á fuerte presión y á una alta temperatura en el interior de la caldera se solubilizan en pequeña parte actuando luego químicamente.

Los cuerpos grasos dan lugar á los fenómenos ya estudiados. En el país, algunas usinas introducen en sus calderas aceites minerales, con el objeto de mantener en suspensión á los precipitados. No dan resultado, porque al poco tiempo aumentan de densidad y caen al fondo de la caldera provocando el sobrecalentamiento de las paredes.

La aplicación de las materias amiláceas principalmente las papas, es de origen inglés (1) por el año 1820. Actúan primero químicamente y luego mecánicamente. En efecto, la fécula de las papas y las materias amiláceas se hidratan dando cianuro-dextrina y dextrina (2) que engloban á los precipitados alcalino-térreos impidiendo su unión.

El empleo de los antiincrustantes que actúan químicamente reposa sobre el aumento de solubilidad de las sales incrustantes ó á transformarlas en depósitos no adherentes.

Pueden ser sustancias orgánicas ó minerales. Entre ellas se encuentran: taninos, tanatos, maderas diversas, materias azucaradas, glicerina, carbonato de sodio, aluminato de bario, silicatos alcalinos, etc., de los cuales reseñaré brevemente la acción de los más importantes.

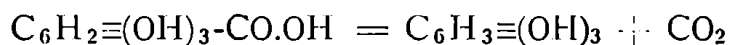
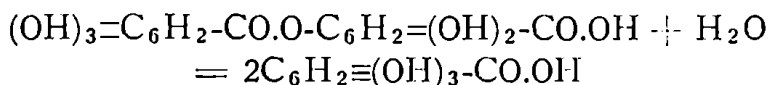
*Por el tanino y materias tanantes.* — El tanino y los tanatos son empleados porque dan precipitados calcáreos y magnésicos no adherentes. En efecto, se hidratan al contacto del agua dando dos moléculas de áci-

(1) JULES LEFORT—*Traité de Chimie Hydrologique.*

(2) H. DE LA COUX—*L'eau dans l'industrie.*



do gálico y éste por el calor se descompone en ácido pirogálico y anhídrido carbónico, según las reacciones:



Con las sales del agua se forman tanatos, galatos y pirogalatos de calcio y magnesio que no se adhieren á las paredes de la caldera.

Distintas maderas (campeche, castaño, quebracho, encina, guayaco, caoba, etc.) por los distintos taninos que contienen se emplean en lugar de éstos, bien sea en virutas que se introducen en el generador, ó bien sea el líquido preconizado por Nern y Kutz (1), obtenido por ebullición de varias horas de esas virutas en agua ligeramente alcalina. Este líquido se introduce periódicamente en las calderas en cantidades calculadas por el volumen del agua y por su grado hidrotimétrico.

Además las materias colorantes de esas maderas ofrecen la ventaja de formar con los precipitados calcáreos, lacas no adherentes á las paredes de la caldera. (Teoría de Nern y Kutz (1).

Después Olry y Bonnet, los antiincrustantes á base de taninos, deben ser empleados con prudencia, pues el ácido tánico en exceso provoca las corrosiones de las paredes (2).

*Por la glicerina.* — Preconizada por Asselin y Videt (3) se emplea porque disuelve las sales calcáreas del agua.

Cuando la glicerina no disuelve más sales incrustantes, éstas precipitan pero al estado gelatinoso sin ninguna adherencia.

*Por el carbonato de sodio.* — Ha sido preconizado por Kuhlman y es la base de numerosos antiincrustantes

(1) J. LEFORT—*Traité de Chimie Hydrologique.*

(2) *Le Genie Civil*—Marzo 1898, pág. 337.—*Bulletin de la S. Chimique de Paris.* 5 Agosto 1897.

(3) H. DE LA COUX—*L' eau dans l'industrie.*

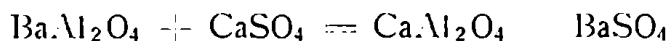
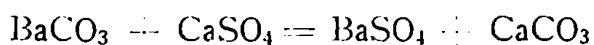
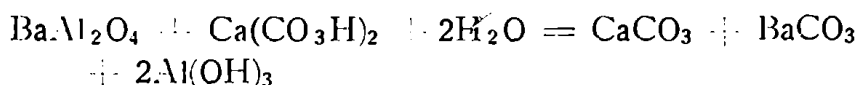
Las reacciones á que da lugar se han visto en la separación preliminar por este reactivo y no es necesario volver sobre ellas.

Usado en las dosis convenientes da excelentes resultados.

*Por la soda.* — Este álcali es muy usado y es la base de muchos antiincrustantes. Es necesario echar el reactivo en pequeñas cantidades, pues la precipitación del carbonato de calcio es más difícil que con el antiincrustante anterior y se expone á corroer las paredes de los generadores.

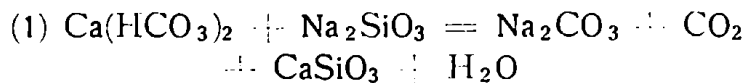
*Por el aluminato de bario.* — A pesar del costo elevado y de que varía constantemente el título de la solución de esta sal, es muy usado.

Las reacciones que se producen pueden ser interpretadas así:



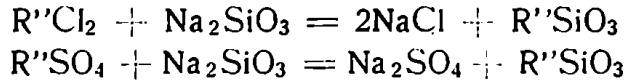
En realidad, la práctica ha demostrado que estas reacciones son reacciones límites (1) cuando las sales en presencia alcanzan á un cierto grado de concentración.

*Por el silicato de soda.* — La legía de silicato de soda á 35° Beaumé es un buen antiincrustante cuando se usa en las cantidades que requieren la calidad y el volumen del agua, pues transforma los bicarbonatos en silicatos gelatinosos que precipitan.



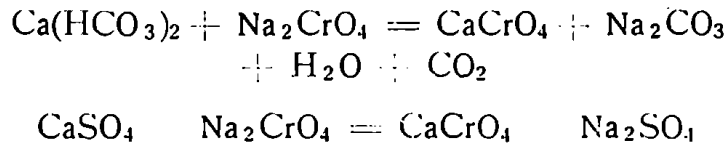
(1) R. BERNARD—*Le Moniteur scientifique*. Enero 1912.

Actúa también sobre los cloruros y sulfatos alcalino-térreos dando los silicatos correspondientes.



El carbonato de sodio formado en (1) actúa á su vez en la forma conocida.

*Por cromatos alcalinos.* — Actúan sobre el bicarbonato y el sulfato de calcio.



Los bicromatos darían lugar á las mismas reacciones, pero no se emplean por su peso molecular elevado.

Entre los cromatos el más usado es el de sodio, que da excelentes resultados, pero su precio es elevado.

*Por oxalatos alcalinos.* — Los oxalatos alcalinos precipitan las sales de calcio del agua. El carbonato alcalino que se forma da lugar á las reacciones ya citadas.

El más usado de todos es el de sodio que es el más barato de todos ellos; y á pesar de la regeneración del oxalato alcalino por una solución de carbonato de sodio, su precio elevado no lo hace utilizable.

### **DISPOSITIVOS ESPECIALES QUE LOCALIZAN LAS INCRUSTACIONES Y LAS CORROSIONES**

Para impedir que los precipitados se depositen sobre las paredes de los generadores, se anexan a éstos, dispositivos especiales colocados en puntos convenientemente elegidos, con el objeto de recoger las materias en suspensión y las sales precipitadas.

Los precipitados recogidos por esos dispositivos, no son adherentes, pues estos no sufren la acción directa del fuego.

Algunos aprovechan el calor de escape de los gases del combustible ó bien del vapor de agua, y sirven solo para precipitar los bicarbonatos térreos y no precipita el sulfato de calcio, pues difícilmente alcanzan á 100°. En cambio otros son colocados en el interior de la caldera y entonces pueden alcanzar hasta 150° y todo el sulfato de calcio precipita.

Antes se hacía entrar el agua en la caldera debajo del nivel del líquido y hoy el agua es inyectada en donde está el vapor, por dispositivos, para producir la elevación rápida de temperatura, favoreciendo la formación de depósitos pulverulentos.

A pesar de esta última disposición, la incrustación se adhería á las paredes y Goldsdorf (1) notó que la mayor parte se depositaba á la altura de la entrada del agua. Para suprimir este inconveniente coloca cajas especiales, de fondo inclinado, debajo de la entrada del agua que llega en forma de lluvia. Las sales precipitan inmediatamente y son recogidas por esas cajas; una llave lateral facilita su salida, sin detener el funcionamiento de la máquina.

El resultado de los distintos dispositivos es mediocre, algunos de ellos duplican ó triplican el intervalo entre dos limpiezas de la caldera.

*Electrógenos.* — Estos son unos aparatos metálicos que se oponen á la adhesión de las sales incrustantes á las paredes por acciones voltaicas que forman con el fierro de las calderas.

Generalmente son hojas de zinc que impiden en parte la adherencia de los depósitos y que atraen á sí la acción corrosiva del agua, en lugar de dejarla ejercer sobre el fierro.

El zinc comunica con las paredes del generador por hilos conductores. Una corriente eléctrica se establece

(1) *Portefeuille Economique des Machines.* Octubre 1908.

entre el zinc y el fierro de las paredes, cuando están en un medio conductor, que va del zinc al fierro y que descompone el agua, en oxígeno y en hidrógeno. Este último va sobre el fierro, preservándolo contra toda oxidación y el oxígeno va al zinc oxidándolo.

Es necesario raspar cada cierto tiempo al zinc para sacarle la capa de óxido formado, que impide el ataque y por consiguiente la formación de la corriente eléctrica.

## Limpieza de los generadores á vapor

---

“Para los generadores como para el cuerpo humano la higiene es un factor esencial de conservación y de economía.”

Como ninguno de los distintos métodos de depuración suprime las incrustaciones, es necesario recurrir á la limpieza de los generadores, de tiempo en tiempo, para evitar las consecuencias de aquéllas.

La experiencia es la única que fija el intervalo entre dos limpiezas.

La limpieza de los generadores se hace de la siguiente manera:

Una vez fría la caldera, se vacía y luego se abren los agujeros de hombre para que penetre el aire y los obreros que sacan las incrustaciones adherentes por medio del buril ó de martillos *ad hoc*. Esta operación llamada *picado*, es larga y difícil y más ó menos frecuente, según el agua y el tipo de los generadores. El picado deteriora las paredes y es incompleto porque hay sitios que no pueden explorarse. Para las calderas tubulares se limpian los tubos con aparatos automáticos especiales.

Para evitar el picado, Savreaux (1), ha preconizado un procedimiento de vaciar la caldera en frío que supri-

(1) LE GENIE CIVIL 1897. pág. 119.

me las incrustaciones. Dicho autor notó, que dejando enfriar antes de vaciar el generador, salía todo el depósito, y lo poco que quedaba se adhería apenas. El depósito puesto en seco, después de media hora, se hace duro y adherente á las paredes.

Basado en esa observación, indica el siguiente procedimiento:

Dos ó tres días de apagado el fuego, se retiran las cenizas; á los ocho días la caldera está fría y se vacía. Se lava con un chorro de agua la parte superior de los tubos, é inmediatamente, antes que endurezcan los depósitos, se raspa con una rasqueta de mano las paredes y luego se lavan con un chorro de agua. Como estas operaciones llevarían más de media hora, si se hicieran sobre toda la caldera, lo que determinaría el endurecimiento de una parte de los depósitos, conviene fraccionar la caldera de tal manera, que cada fracción pueda ser limpiada en menos de media hora, no teniendo tiempo entonces, de endurecerse los depósitos.

El procedimiento es muy bueno y las calderas así tratadas no son jamás incrustadas, pero necesita dos condiciones:

1.<sup>a</sup> — La posibilidad de vaciar sin presión, lo que no tiene lugar sino para los generadores no enterrados.

2.<sup>a</sup> — La posibilidad de detener por ocho días al generador, lo que obliga á tener uno de relevo.

La primera condición es rigurosamente necesaria y la segunda en algunas usinas se resuelve vaciando varias veces la caldera y llenándola enseguida con agua fría. Pero esto daña á las paredes, debilita las juntas, etc., y se ha sustituido por indicación de Schmidt (1), por renovamiento de agua sin vaciar completamente, después de dos días de apagado el fuego.

En resumen, el procedimiento es bueno, pues evita incrustaciones adherentes, poco costoso, sin gastos de picado y antiincrustantes y pocas averías, pero necesita un generador de relevo.

(1) LE GENIE CIVIL. 1897 pág. 120.

## Cálculos de los reactivos empleados en la depuración

---

Como he hecho notar, tanto para depuración preliminar, como para el uso de los antiincrustantes, se debe conocer exactamente la calidad y naturaleza de las impurezas del agua y de los reactivos empleados.

No es necesario hacer las probables combinaciones del agua, puesto que ya se ha visto que en el interior de las calderas se producen descomposiciones, doble descomposiciones, recombinaciones y estados de equilibrio, que harán variar la naturaleza de las sustancias en disolución y las precipitadas.

Por lo tanto, es mejor formular un análisis de agua, en los distintos elementos, pero no en gramos, sino en iones monovalentes.

Los iones monovalentes se obtienen dividiendo el número de los gramos obtenidos, por los pesos atómicos ó moleculares, según el caso, y multiplicando el resultado por el número de valencias de los iones.

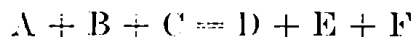
Hay que tener en cuenta que el anhídrido sulfúrico debe calcularse como  $S O_4$ , y el anhídrido carbónico de los bicarbonatos que es anión monovalente como  $C O_3$ .

El residuo fijo del agua estará dado por la suma de los aniones y de los cationes expresados en iones monovalentes.



Llamemos A el de calcio, B el de magnesio, C el de los metales alcalinos, D el de CO<sub>3</sub> de los bicarbonatos, E el de SO<sub>4</sub> y F el de los otros aniones.

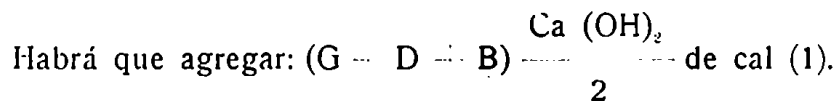
Se tendrá en el residuo salino:



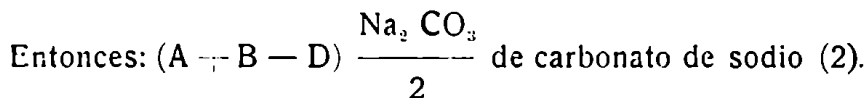
Como el anhídrido carbónico libre interviene en la depuración, se debe tener en cuenta. Llamemos á ese anión G.

Supongamos que deseamos depurar un agua por la cal y el carbonato de sodio.

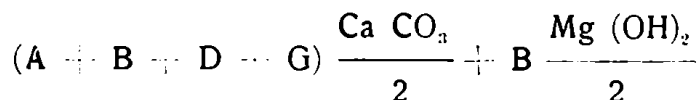
Por las ecuaciones que se han citado anteriormente, se sabe que la cal actuará sobre el anhídrido carbónico libre y el semicombinado y sobre la magnesia.



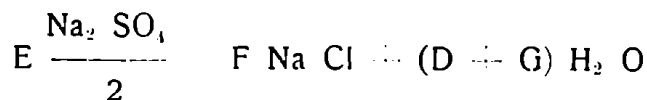
El carbonato de sodio actúa sobre el calcio y sobre el magnesio, pero habrá que restar la parte correspondiente á la de los bicarbonatos que precipitan con el reactivo anterior:



Después de efectuadas las reacciones se tendrá un precipitado compuesto de:



y un líquido conteniendo:



Luego para conocer las cantidades de reactivos á agregar, bastará sustituir en las fórmulas (1) y (2) los valores correspondientes y multiplicarlos por el peso molecular de esos reactivos.

Este método da buenos resultados cuando el agua no contiene sílice y óxidos de fierro y aluminio.

El análisis químico completo de un agua es, relativamente largo é impracticable en algunas industrias, como en los ferrocarriles, y muchos autores trataron de resolver el problema, teniendo en vista la depuración, de encontrar procedimientos sencillos para calcular las dosis de reactivos y para controlar la marcha de la depuración. Son muchos los métodos preconizados y ninguno satisface completamente las exigencias de la industria.

Es difícil establecer las cantidades de reactivos para depurar completamente, en las condiciones industriales, un agua determinada, pues el límite de las reacciones que se producen, varía con el tiempo que duran esas reacciones (la que se fija por las necesidades de la usina), con las proporciones relativas y absolutas de las diferentes sales disueltas en el agua y con la temperatura.

Entre los distintos métodos rápidos para calcular las dosis de reactivos, los más empleados son: el método hidrotimétrico de Boutron y Boudet, el de Vignon y Meunier (1), el de Derennes (2), el de Declercq y Verbièse (3), etc. En la república, el doctor Fritz Bade (4) preconiza un nuevo método para el cálculo de los reactivos para la depuración de las aguas de la provincia de Buenos Aires.

(1) LEO VIGNON et MEUNIER—*Comptes rendus*. Marzo de 1899.

(2) E. DERENNES—*Etude sur l'épuration des eaux*.

(3) G. BOURREY—*L'eau dans l'industrie*.

(4) F. BADE—*Estudios sobre análisis de agua y sobre la purificación de las aguas*.

## Cálculos de las dosis de los antiincrustantes

---

Las sustancias químicas que se introducen en el interior de las calderas, con el objeto de disminuir las incrustaciones, dan poco resultado, sobre todo porque son empleadas en cantidades que no corresponden á las aguas de alimentación.

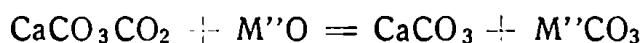
Como se habrá notado, las proporciones de los reactivos á emplear son funciones de las cantidades de sales incrustantes disueltas en el agua.

Además la composición de los antiincrustantes debe variar según la naturaleza del agua, y al mismo tiempo que se debe conocer la composición del agua debe conocerse la de los reactivos.

La mayor parte de los antiincrustantes del comercio son de composición desconocida y su utilización debe hacerse después de ensayos preliminares.

El cálculo de la dosis de los antiincrustantes conocidos, que se deben emplear para evitar las incrustaciones, se hace de la siguiente manera:

*Caso de un agua calcárea.* — La ecuación que representa la acción de los óxidos metálicos alcalinos y alcalino terrosos sobre el bicarbonato de calcio, es la siguiente, siendo M el metal:



El anhídrido carbónico de los bicarbonatos es saturado por el óxido metálico, con formación del carbonato correspondiente y de la precipitación del carbonato de calcio.

Una molécula de carbonato alcalino terroso corresponde á una molécula del reactivo.

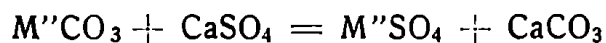
Para abreviar los cálculos se ha hecho la tabla con los factores de los distintos reactivos, y bastará multiplicar el factor que corresponde al reactivo empleado por la cantidad de carbonato de calcio existente en el agua, para conocer la cantidad de reactivo á agregar.

	Carbonato	Oxalato	Oxido	Silicato	Aluminato	Creomato	Bicromato
Na	1,06	1,34	0,62	1,22	6,60	1,625	2,63
K	1,36	1,66	0,94	1,54	6,92	1,945	2,95
Mg	—	—	0,40	—	—	—	—
Ca	—	—	0,56	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—	7,51	—	—

*Caso de un agua selenitosa.* — Supongamos que el agua á desincrustar contenga además de carbonato de calcio, sulfato de calcio y que haya sido tratada como en el caso anterior. Se tendrá entonces que eliminar el sulfato de calcio.

Dos subcasos pueden presentarse según las sustancias que se habrán empleado para eliminar el carbonato cálcico.

*Primer subcaso.* — Si se ha usado para eliminar ese cuerpo el carbonato, ó el oxalato, ó el aluminato, ó el óxido de sodio ó de potasio, se ha formado por las reacciones conocidas el carbonato correspondiente soluble que actuará á su vez sobre el sulfato de calcio.



De modo que una molécula de dichos reactivos actuando sobre una molécula de carbonato de calcio, formará una molécula de carbonato de sodio ó de potasio que á su vez actuará sobre una molécula de sulfato de calcio.

La relación que existe entre el sulfato y carbonato de calcio será:

$$\frac{\text{CaSO}_4}{\text{CaCO}_3} = 1,36$$

que H. de la Coux llama coeficiente de incrustación.

Si la relación del sulfato y carbonato que contiene un agua es igual á 1.36, todo el sulfato precipitaría con la cantidad de reactivo necesario para precipitar el carbonato de calcio.

Si la relación es menor á 1.36, quiere decir que el carbonato de sodio formado sobraré para la precipitación total del sulfato.

Pero si es mayor á 1.36, será necesario para precipitar todo el sulfato agregar más reactivo.

El peso del sulfato de calcio precipitado por el carbonato cálcico, se obtiene multiplicando el peso de este último por 1.36.

La diferencia entre el peso total de sulfato cálcico contenido en el agua y el producto anterior, dará el peso de sulfato de calcio que es preciso precipitar con más reactivo.

El producto de esa diferencia por el factor, que se encuentra en la tabla siguiente, nos dará el peso del reactivo á agregar para la precipitación del exceso de sulfato de calcio.

Carbonato de sodio . . . . .	0.779
Carbonato de potasio . . . . .	1.001
Carbonato de magnesio . . . . .	0.617
Cloruro de bario . . . . .	1.529
Oxalato de sodio . . . . .	0.985
Oxalato de potasio . . . . .	1.220

Hay que tener presente que en la precipitación por el carbonato de sodio ó de potasio, de los bicarbonatos, basta con iniciar la reacción, pues el carbonato alcalino

es regenerado y sólo se gastará la cantidad correspondiente al sulfato de calcio.

*Segundo subcaso.* — Si se emplea para precipitar el carbonato de calcio, una de las siguientes sales: cromato, bicromato de sodio ó de potasio, ó el aluminato de bario, como no hay reacción secundaria habrá que agregar más reactivo para la precipitación del sulfato de calcio.

La cantidad del reactivo será dada por el producto del peso del sulfato de calcio que contiene el agua, por el factor correspondiente.

Cromato neutro de sodio . . . . .	1.194
Cromato neutro de potasio . . . . .	1.430
Bicromato de potasio . . . . .	2.169
Bicromato de sodio . . . . .	1.933
Aluminato de bario . . . . .	5.521

Para cualquier caso es bueno agregar un pequeño exceso de reactivo para que la precipitación sea total.

Las cantidades de reactivo á emplear varían con el tipo del generador y de la cantidad de agua á evaporar. Esas dosis se echan en la caldera cada cierto tiempo, determinado por la experiencia y que es el que da mejores resultados, puesto que las reacciones teóricas no representan los fenómenos que se producen en el interior de la caldera.

## TERCERA PARTE

---

### **Análisis** **de algunas aguas y de las incrustaciones** **producidas por las mismas**

Las aguas de la República Argentina se caracterizan por ser, en general, muy malas para la alimentación de calderas, pues con frecuencia presentan una alcalinidad elevada, algunas son ricas en silicatos y en cloruros, y muchas son selenitosas.

Esto ha dado motivo para que los industriales se preocuparan de resolver el árduo problema, tratando de evitar en lo posible los inconvenientes que dichas aguas acarrearán.

Como el empirismo domina aún en nuestras industrias y no se tiene mayor iniciativa, se ha tratado de corregir esas deficiencias con el menor gasto posible. Nuestro industrial cree que una instalación apropiada para depurar previamente el agua de alimentación de sus calderas y la adquisición de reactivos adecuados, importaría una erogación demasiado grande, pero es que no se tiene en cuenta el mayor consumo de combustible, lo que á veces se invierte en la compra de antiincrustantes y los inevitables gastos de reparación. Es por eso que se ha acudido á la utilización de antiincrus-

tantes, y esto mismo no se ha hecho preceder de un estudio metódico y racional que permitiera conocer la naturaleza y proporción conveniente del correctivo á emplear, limitándose generalmente á adoptar tal ó cual preparación de composición desconocida, agregada en proporciones fijadas por un prospecto que no puede tener en cuenta la variada composición de las aguas.

He efectuado el análisis de algunas aguas del país y de las incrustaciones producidas por las mismas.

Las muestras de las incrustaciones, que han sido estudiadas, se tomaron en el momento de “purga” de la caldera, son, por lo tanto, incrustaciones blandas; sólo las que corresponden al agua N.º 3, se tomaron en el interior de la caldera. Esta había sido provista de láminas de zinc porque el agua atacaba fuertemente á las paredes y mucho más á los robinetes.

No me ha sido posible obtener todas las muestras como la N.º 3 porque las fábricas no podían detener el funcionamiento de sus calderas y se necesitaba además dejarla enfriar completamente, lo que lleva mucho tiempo.

Los métodos seguidos en el análisis de dichas muestras, son los corrientes.

El anhídrido carbónico lo determiné por pesada, con el aparato de Fresenius (1).

(1) R. FRE-ENIUS—*Analyse chimique quantitative*, tomo 1, pág 378.



# ANÁLISIS

N.º 1 — AGUA DE FUENTE — (Provincia de Córdoba)

ANALISIS

	Por litro
Reacción en frío . . . . .	Alcalina
Materia en suspensión . . . . .	V
Residuo entre 100° y 105" . . . . .	0.3330
Residuo á 180° . . . . .	0.3120
Residuo al rojo débil . . . . .	0.2770
Id. id. id. después de tratado con H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.3850
Dureza . . . . .	15°5 F
Alcalinidad total en H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.2544
Materia orgánica en oxígeno (sol. ácida) . . . . .	0.0040
Cloro. . . . .	0.0116
Anhidrido sulfúrico . . . . .	0.0027
"    nitríco . . . . .	0
"    nitroso. . . . .	0
"    silícico . . . . .	0.0142
Acido sulfhídrico . . . . .	no tiene
Anhidrido carbónico	combinado . . . . . 0.1140
	semi combinado . . . . . 0.0717
	libre . . . . . 0.0478
	total . . . . . 0.2335
Amoníaco libre y sales amoniacaes . . . . .	0
Oxido cálcico. . . . .	0.0692
"    magnésico . . . . .	0.0172
"    sódico . . . . .	0.0716
"    potásico . . . . .	0.0135
"    férrico . . . . .	0.0031
"    alumínico . . . . .	V

*Combinaciones probables*

Ortosilicato alumínico . . . . .	V
Silicato sódico. . . . .	0.02887
Cloruro sódico . . . . .	0.01911
Carbonato ferroso. . . . .	0.00449
Bicarbonato cálcico . . . . .	0.19467
Bicarbonato magnésico. . . . .	0.06278
Carbonato sódico . . . . .	0.08003
Carbonato potásico . . . . .	0.01971
Sulfato cálcico . . . . .	0.00459

**Incrustación producida por el agua N.º 1**

Caldera tubular, incrustación blanda de color rojo.

**ANALISIS**

Humedad. . . . .	0.2109
Pérdida al rojo . . . . .	13.4650
Sílice. . . . .	15.9607
Oxido férrico . . . . .	6.3465
„ de aluminio . . . . .	1.5890
„ de calcio . . . . .	34.6270
„ de magnesio . . . . .	10.4250
„ de sodio . . . . .	1.4809
„ de potasio . . . . .	0.3430
Anhidrido carbónico . . . . .	25.4480
„ nítrico. . . . .	no tiene
„ sulfúrico . . . . .	4.6227
Cloro. . . . .	no tiene

N.º 2 — AGUA DE FUENTE — (Provincia de Córdoba)

ANALISIS

	Por litro	
Reacción en frío . . . . .	Alcalina	
Materia en suspensión . . . . .	V	
Residuo entre 100° y 105" . . . . .	0.5790	
Residuo á 180° . . . . .	0.5480	
Residuo al rojo débil . . . . .	0.5100	
Id. id. id. después de tratado con H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.6750	
Dureza . . . . .	20° F	
Alcalinidad total en H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	c.2716	
Materia orgánica en oxígeno (sol. ácida) . . . . .	0.0036	
Cloro . . . . .	0.02127	
Anhidrido sulfúrico . . . . .	0.0098	
.. nítrico . . . . .	V	
.. nitroso . . . . .	0	
.. silícico . . . . .	c.0332	
Acido sulfhídrico . . . . .	no tiene	
Anhidrido carbónico {	combinado . . . . .	0.1217
	semi combinado . . . . .	0.0590
	libre . . . . .	0.1218
	total . . . . .	0.3025
Amoniaco libre y sales amoniacaes . . . . .	0	
Oxido cálcico. . . . .	c.0992	
.. magnésico . . . . .	c.0327	
.. sódico . . . . .	c.1281	
.. potásico. . . . .	0.0181	
.. férrico . . . . .	0.0019	
.. aluminico . . . . .	V	

*Combinaciones probables*

Onto silicato aluminico. . . . .	V
Silicato sódico. . . . .	c.06749
Nitrato potásico. . . . .	V
Carbonato ferroso. . . . .	c.00274
Sulfato cálcico . . . . .	0.16966
Bicarbonato cálcico . . . . .	0.08485
Bicarbonato magnésico. . . . .	c.11935
Carbonato potásico . . . . .	c.02642
Carbonato sódico . . . . .	0.12856
Cloruro sódico . . . . .	0.03507

**Incrustación producida por el agua N.º 2**

Caldera tubular, incrustación blanda y de color blanco.

ANALISIS

Humedad. . . . .	1.9038
Pérdida al rojo . . . . .	32.5265
Sílice. . . . .	10.7873
Oxido férrico. . . . .	0.8858
„ de aluminio . . . . .	1.2045
„ de calcio . . . . .	38.3857
„ de magnesio. . . . .	8.5329
„ de sodio. . . . .	3.6098
„ de potasio. . . . .	0.7952
Anhidrido carbónico . . . . .	32.7790
„ nítrico. . . . .	no tiene
„ sulfúrico. . . . .	0.9425
Cloro. . . . .	vestigios

N.º 3 — AGUA DE POZO — (Capital)

ANALISIS

	Por litro
Reacción en frío . . . . .	Alcalina
Materia en suspensión . . . . .	V
Residuo entre 100º y 105º . . . . .	1.1320
Residuo á 180º . . . . .	0.9270
Residuo al rojo débil . . . . .	0.8880
Id. id. id. después de tratado con H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	1.3449
Dureza . . . . .	5º F
Alcalinidad en H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.4600
Materia orgánica en oxígeno (scl. ácida). . . . .	0.0004
Cloro . . . . .	0.1600
Anhidrido sulfúrico . . . . .	0.0260
„ nítrico . . . . .	0.0150
„ nitroso . . . . .	0
„ silícico . . . . .	0.0658
Acido sulfhídrico . . . . .	no tiene
Anhidrido carbónico	{ combinado . . . . . 0.2061
	{ semi combinado . . . . . 0.1331
	{ libre. . . . . 0.0676
	{ total. . . . . 0.4068
Amoniaco libre y sales amoniacales . . . . .	V
Oxído cálcico. . . . .	0.3195
„ magnésico . . . . .	0.0794
„ sódico. . . . .	0.1008
„ potásico . . . . .	0.0239
„ férrico . . . . .	0.0024
„ aluminico . . . . .	V

*Combinaciones probables*

Ortosilicato de aluminio . . . . .	V
Sílice . . . . .	0.06580
Cloruro de calcio . . . . .	0.34051
Nitrato de calcio . . . . .	0.01966
Carbonato ferroso . . . . .	0.00386
Sulfato de potasio . . . . .	0.04423
Sulfato de calcio . . . . .	0.00964
Bicarbonato de calcio . . . . .	0.16858
Bicarbonato de magnesio . . . . .	0.28980
Carbonato de sodio . . . . .	0.17248

**Incrustaciones producidas por el agua N.º 3**

Caldera de recipiente grande.

**ANALISIS**

	Incrustación blanda y de color blanco	Incrustación adherida al fierro de las paredes	Incrustación adherida á las láminas de zinc
Humedad . . . . .	7.6125	5.5370	5.6599
Pérdida al rojo . .	26.7283	22.1615	17.5694
Sílice . . . . .	6.4569	24.1005	29.9631
Oxido férrico. . . .	2.8601	6.2837	0.7290
„ de aluminio . .	2.8601	1.2310	0.7290
„ de calcio . . .	31.8929	11.4723	2.2276
„ de magnesio . .	2.2932	20.8291	20.3209
„ de sodio . . . .	4.5680	2.6120	3.3486
„ de potasio . . .	1.2560	0.9487	0.3916
Anhidrido carbónico	27.7768	4.5352	3.9103
„ nítrico . . . . .	1.5480	no tiene	no tiene
„ sulfúrico . . . .	0.3231	7.8800	1.0804
Cloro . . . . .	0.5631	no tiene	no tiene
Oxido de zinc . . . .	—	—	22.0019

NOTA — Las paredes en contacto con el agua son muy corroidas y mucho más las que sufren la acción directa del fuego.

N.º 4 — AGUA CORRIENTE DE LA CAPITAL

ANÁLISIS

	Por litro
Reacción en frío . . . . .	Alcalina
Materia en suspensión . . . . .	V
Residuo entre 100° y 105° . . . . .	0.1806
Residuo á 180° . . . . .	0.1719
Residuo al rojo débil . . . . .	0.1590
Id. íd. íd. después de tratado con H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.1936
Dureza . . . . .	5° F
Alcalinidad total en H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.0248
Materia orgánica en oxígeno (sol. ácida) . . . . .	0.0008
Cloro. . . . .	0.0285
Anhidrido sulfúrico . . . . .	0.0378
„    níttrico . . . . .	0
„    nitroso . . . . .	0
„    silícico . . . . .	0.0162
Acido sulfhídrico . . . . .	no tiene
Anhidrido carbónico { combinado . . . . .	0.0111
{ semi combinado . . . . .	0.0059
{ libre. . . . .	0.0430
{ total. . . . .	0.060
Amoniaco libre y sales amoniacales . . . . .	0
Oxido cálcico . . . . .	0.0126
„    magnésico . . . . .	0.0054
Oxido sódico . . . . .	0.05688
„    potásico . . . . .	0.0081
„    férico. . . . .	0.00265
„    aluminico . . . . .	V

*Combinaciones probables*

Orto silicáto aluminico. . . . .	V
Silicato sódico. . . . .	0.03293
Carbonato potásico. . . . .	0.01185
Bicarbonato magnésico. . . . .	0.01971
Carbonato ferroso. . . . .	0.00383
Sulfato cálcico . . . . .	0.03059
Sulfato sódico . . . . .	0.03516
Cloruro sódico . . . . .	0.04690



**Incrustación producida por el agua N.º 4**

Caldera de recipiente grande, incrustación blanda de color rojo.

**ANALISIS**

Humedad . . . . .	1.0073
Pérdida al rojo . . . . .	2.9598
Sílice. . . . .	43.9805
Oxido férrico . . . . .	13.2672
„ de aluminio. . . . .	11.4205
„ de calcio . . . . .	15.9380
„ de magnesio . . . . .	7.4109
„ de sodio . . . . .	0.6941
„ de potasio . . . . .	0.3165
Anhidrido carbónico. . . . .	2.2077
„ nítrico . . . . .	no tiene
„ sulfúrico. . . . .	3.9599
Cloro. . . . .	vestigios

N.º 5 — AGUA DE POZO — (Capital)

ANALISIS

	Por litro
Reacción en frío . . . . .	Alcalina
Materia en suspensión . . . . .	V
Residuo entre 100º y 105º . . . . .	0.6660
Residuo á 180º . . . . .	0.6345
Residuo al rojo débil . . . . .	0.5640
Id. id. id. después de tratado con H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.7920
Dureza . . . . .	11º F
Alcalinidad total en H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.3520
Materia orgánica en oxígeno (sol. ácida). . . . .	0.0024
Cloro . . . . .	0.0709
Anhidrido sulfúrico . . . . .	0.02538
"    níttrico . . . . .	0.0090
"    nitroso . . . . .	V
Anhidrido silícico . . . . .	0.0460
Acido sulfhídrico . . . . .	no tiene
Anhidrido carbónico { combinado. . . . .	0.1577
{ semi combinado . . . . .	0.0618
{ libre. . . . .	0.0445
{ total. . . . .	0.2640
Amoniaco y sales amoniacales . . . . .	0
Oxido cálcico. . . . .	0.0665
"    magnésico . . . . .	0.0214
"    sódico. . . . .	0.2360
"    potásico. . . . .	0.0192
"    férico. . . . .	0.0017
"    alumínico . . . . .	V

*Combinaciones probables*

Orto silicato alumínico . . . . .	V
Silicato sódico. . . . .	0.09352
Carbonato sódico . . . . .	0.21640
Bicarbonato magnésico. . . . .	0.07811
Bicarbonato cálcico . . . . .	0.14097
Carbonato ferroso. . . . .	0.00246
Sulfato cálcico . . . . .	0.04314
Cloruro sódico . . . . .	0.11684
Nitrato potásico . . . . .	0.01683
Carbonato potásico. . . . .	0.01660

**Incrustación producida por el agua N.º 5**

Caldera tubular, incrustación blanda de color gris oscuro; contiene carbón.

**ANALISIS**

Humedad . . . . .	1.4253
Pérdida al rojo. . . . .	37.3670
Sílice. . . . .	13.7973
Oxido férrico. . . . .	0.4516
„ de aluminio . . . . .	2.1938
„ de calcio . . . . .	34.4000
„ de magnesio . . . . .	3.9475
„ de sodio . . . . .	3.4217
„ de potasio . . . . .	0.4210
Anhidrido carbónico . . . . .	26.9340
„ nítrico. . . . .	1.7320
„ sulfúrico . . . . .	0.3530
Cloro. . . . .	0.0430

N.º 6 — AGUA DE POZO — (Capital)

ANALISIS

	Por litro	
Reacción en frío . . . . .	Alcalina	
Materia en suspensión . . . . .	V	
Residuo entre 100° y 105° . . . . .	0.7660	
Residuo á 180° . . . . .	0.7245	
Residuo al rojo débil . . . . .	0.6820	
Id. id. id. después de tratado con H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.9150	
Dureza . . . . .	16°5 F	
Alcalinidad total en H <sup>2</sup> SO <sub>4</sub> . . . . .	0.3223	
Materia orgánica en oxígeno (sol. ácida) . . . . .	0.0019	
Cloro . . . . .	0.1028	
Anhidrido sulfúrico . . . . .	0.0222	
.. nítrico . . . . .	0.0190	
.. nitroso . . . . .	V	
.. silícico . . . . .	0.0668	
Acido sulfhídrico . . . . .	no tiene	
Anhidrido carbónico {	combinado . . . . .	0.1444
	semi combinado . . . . .	0.1315
	libre . . . . .	0.1577
	total . . . . .	0.4336
Amoníaco y sales amoniacales . . . . .	V	
Oxido cálcico . . . . .	0.1310	
.. magnésico . . . . .	0.0371	
.. sódico . . . . .	0.1729	
.. potásico . . . . .	0.0209	
.. férrico . . . . .	0.0021	
.. aluminico . . . . .	V	

*Combinaciones probables*

Orto silicato aluminico . . . . .	V
Silicato sódico . . . . .	0.13580
Carbonato sódico . . . . .	0.02342
Carbonato potásico . . . . .	0.00638
Bicarbonato magnésico . . . . .	0.13563
Bicarbonato cálcico . . . . .	0.33393
Bicarbonato ferroso . . . . .	0.00304
Sulfato cálcico . . . . .	0.03774
Cloruro sódico . . . . .	0.16941
Nitrato potásico . . . . .	0.03553

**Incrustación producida por el agua N.º 6**

Caldera tubular, incrustación blanda de color gris.

ANALISIS

Humedad . . . . .	2.7499
Pérdida al rojo.	19.4558
Sílice. . . . .	22.2354
Oxido férrico . . . . .	0.4860
„ de aluminio.	1.3580
„ de calcio . . . . .	30.7082
„ de magnesio	10.1595
„ de sodio . . . . .	3.9816
Oxido de potasio.	0.4935
Anhidrido carbónico . . . . .	22.3580
„ nítrico.	0.5030
„ sulfúrico . . . . .	5.4035
Cloro.	0.0871

## CONCLUSIONES

---

El magnesio contribuye directamente á la formación de las incrustaciones adherentes. No ha podido establecerse en qué combinaciones se encuentra el magnesio en estas incrustaciones, siendo probable que se halle al estado de hidrato ó de hidrocarbonato.

El calcio existente en las incrustaciones adherentes se halla al estado de sulfato, casi en su totalidad; suele existir en pequeñas proporciones bajo la forma de carbonato. El sulfato de calcio puede ser anhidro ó hidratado con 1|2 ó 2 moléculas de agua.

Las aguas de la República Argentina son, en general, ricas en silicatos alcalinos, que se descomponen por ebullición, dando sílice que en parte se incorpora á las incrustaciones adherentes, cuya dureza hace aumentar.

Constátase en algunas aguas de purga de calderas, la presencia de hidrato sódico proveniente quizá, de la descomposición del carbonato sódico, abundante, por lo general, en nuestras aguas.

La elevada proporción de cloruros que se observa en las aguas de nuestro país, las hacen perjudiciales por las corrosiones á que pueden dar lugar.

El mejor procedimiento para evitar las incrustaciones y corrosiones, sería la corrección previa de las aguas; no obstante, una aplicación racional de los anti-incrustantes daría resultados aceptables.

El uso de los aceites minerales á que suele recurrirse en nuestro país, no es aconsejable por cuanto al poco tiempo aumentan de densidad y se depositan sobre las paredes, formando una capa aisladora que provoca su sobrecalentamiento.

M. ERNESTO VASSALLI.

---

Buenos Aires, Junio 15 de 1912.

Pase á la Comisión Examinadora núm. 22 para que se sirva estudiar la presente tesis.

J. F. SARIY.

Decano

PEDRO J. CONI.

Secretario

Encontrándose esta tesis dentro de las condiciones del Reglamento de la Facultad, puede aceptarse.

E. L. HOLMBERG.

E. HERRERO DUCLOUX.

A. GALLARDO.

C. M. HICKEN.

J. J. GATTI.

A. A. BADO