

Emiteo
1996
Y

TRATAMIENTO
DE AGUAS PARA
CALDERAS DE
BAJA PRESIÓN.

PARTE I:
LOCOMOTORAS.

L. D. FORTA, Ing. Civil.
F. Ing. Energía, M. I. Mech. E.
Esc. Ben. CAI
Instituto Nacional de
Tecnología Industrial

Emiteo: Buenos Aires Julio 1975

Revisado: Julio 1978

1 NOV 1982

Prólogo.

El presente trabajo ha sido escrito en 1975 con una revisión hecha en 1978. Resume el estado de los conocimientos disponibles al autor en esa fecha. La actual presentación incorpora algunas observaciones adicionales, pero no la actualización que podría resultar del incremento de información y conocimientos habidos desde entonces hasta hoy.

¿Porqué ha sido escrito? ¿No era que sobre tratamiento de aguas en calderas de baja presión - y de locomotoras en particular - "se sabía todo"? ¡Que esperanza! Un poco a modo de texto que limpiara ideas fuertemente arraigadas, y un poco a modo de exposición de lo que se cree son genuinos avances en el arte, el presente trabajo presenta un tratamiento para las locomotoras, describe los fenómenos que se dan en la caldera y proporciona una interpretación de los mismos que está bastante lejos de la tradicional, la que a veces merece el calificativo de burda (aunque respetable).

Esto es: que el tratamiento propuesto es ante todo la respuesta que el autor se da a sí mismo en su afán de proponer una tecnología de tracción de vapor de avanzada.

El lector apreciará que se ha escrito en el lenguaje coloquial de la especialidad, incorporando a veces expresiones propias del medio que condensan (muy significativo) materias de otro modo inexpresables.

Todo es relativo en la vida. El lector ha de entender que los adjetivos y adverbios tales como "muy bueno", "aceptable", etc. han de entenderse en relación al servicio ferroviario, el que se caracteriza por presentar exigencias y gozar de "ventajas" diferentes, por ejemplo, de las que se dan en el medio industrial, de las centrales eléctricas o a bordo de los barcos. El autor sin embargo no se conforma con eso, ya que sabe que el auténtico progreso ha de referirse no a que las cosas se hagan cada vez mejor sino a los valores absolutos que impone su naturaleza.

Se lamenta que la interrupción, que se dio hacia el fin de la década del 50, en el cultivo de la técnica de las locomotoras de vapor haga que los potenciales destinatarios (otros que el autor mismo) de este trabajo no estén al corriente de la problemática objeto del mismo. Tampoco pueden aquí repetirse conceptos que han sido extensamente tratados en la bibliografía relativa a tratamientos de aguas. Análogamente, hay que lamentar que esos destinatarios no hayan tenido experiencia de manejo (footplate experience) COMO ERA OBLIGATORIO EN TIEMPOS PASADOS, razón por la cual muchos conceptos que son algo más que matices no pueden, como los colores y alegrías del dar a luz, ser comprendidos por quien no los vivió (es como aprender a navegar un bote a vela ¡por correspondia!).

501888

Referencias (*)

(1) PORTA, L.D.: "Note on the Flat Plated Stayed Firebox Construction for Locomotive Boilers Working at 30 and 60 at Steam Pressures". 1976, revised 1977, unpublished).

(2) HALL, R.E.: "A System of Boiler Water Treatment Based on Chemical Equilibrium". Ind. Eng. Chem. 17, 283-290 (1925).

(3) HALL et al.: "A Physicochemical Study of Scale Formation and Boiler-Water Conditioning". Bull 24, Carnegie Institute of Technology, USA (1927).

(4) HALL, R.E.: "Phosphate in Boiler Water Conditioning". J. Amer. Water Works Ass. 21, 79-100 (1929)

(5) HALL, R.E.: "Fundamentals in Conditioning of Boiler Water". Proc. Eng. Soc. of Western Pa., 41, 347-390 (1925).

(7) STRAUB

(8) STRAUB, F.G. "Solubility of Calcium Salts in Boiler Water". Trans. ASME 1932, FSP-54-17, pp. 221-230

(9) STRAUB, F.G.: "A Study of the Reactions of Various Inorganic and Organic Salts in Preventing Scale in Steam Boilers". Univ. of Illinois Engineering Experimental Station, Bull N° 283 (1936).

(10) STRAUB.

(11) GRAY: "Boiler Water Treatment: a Formula for the Control of Sludge and Scale in Internal (Continuous) Treatment". J. Inst. Fuel 30, 571.

(*) Copia de los trabajos no publicados o publicados pueden obtenerse del autor, L. D. PORTA, Azara 1557 Banfield 1828, Argentina.

(12) THURSTON & FURNIVAL: "Boiler Water Treatment, etc Experiments in Laboratory Boilers". J. Ind. Fuel 30, 565

(13) STRAUB & LARSON: "Decomposition of Dilute Sodium Carbonate Solutions at Temperatures Between 147°C and 242°C". Ind. Eng. Chem. 24, 1416-1419 (1932).

(14) SCHWEDER & FELLOWS: "Determination of Carbonate, Hydroxide and Phosphate in Boiler Waters".

Paper presented at the annual ASME meeting, New York, Nov 30, 1931.

(15) THURSTON, E.F.: "Experimental Plant for Studying Methods and Controlling Scale Formation in Boilers". Chemistry and Industry, July 10, 1965, pp. 1238-1243.

(16) BROOKS, CLARK & THURSTON. Phil. Trans. Royal Society 243, 145 (1950).

(17) HALL, R.E.: "A New Approach to the Problem of Conditioning Water for Steam Generation". Trans. ASME, July 1944, 437-488.

(18) HOMIG: "F-physiochemische Grundlagen der Speisewasser Chemie". Vulkan Verlag, Essen, 1963.

(19) BIKERMAN J.J. "Foams". SPRINGER Verlag, Berlin 1973.

(20) WELDER, B.Q. & PARTRIDGE, E.P.: "Practical Performance of Water-Conditioning Gadgets". Ind. Eng. Chem. 46, 954-960 (1954).

(21) HANCOCK, J.S.: "A Brief History of Locomotive Feed Water Treatment on the LMR of British Ry". J. I. Loco. E., 41, Pt 3 (1957) paper 573, pp. 229-293

(22) PARSONS, A.J. "Some Aspects of Locomotive Boiler Feedwater Treatment". J. I. Loco. E., 47, Pt 3 (1957) paper 572, pp. 229-275.

(23) RICHARDSON, W.R.: "Report on Water Treatment on Locomotive and Industrial Boilers in Argentina". Expert of the British Council acting on behalf of the Instituto Nacional de Tecnologia Industrial, Argentina, 1971.

- (24) SCHMIDT, YOUNG & SCHRADER: "Tests of a Mikado Type Locomotive Equipped with NICHOLSON Thermic Syphons". University of Illinois. Bull. 220, Feb. 1931. Ver tambien PORTA, L.D.: "The NICHOLSON Thermic Syphon: An Analysis of the Claimed Advantages". (Encus 1973, no publicado).
- (25) SENIFF, R.W.: "Steam Contamination by Aquaglobsejection". AREA Bull 446, Vol 46, p.57 (1944).
- (26) MILLARD & MATSON, Ind. Eng. Chem. 17, 685 (1925).
- (27) HALL, Mechanical Enging 46, 810 (1924).
- (28) TECHNICUS: Chemical Age 20, 443 & 465 (1929)
- (29) FOULK: "A Theory of Liquid Film Formation". Ind. Eng. Chem. 21, 815 (1929).
- (30) FOULK, Mech. Engineering 48, 1364 (1926).
- (31) FOULK: "Foaming of Boiler Water". Ind. Eng. Chem. 16, 1121 (1924).
- (32) JOSEPH & HANCOCK: J. Soc. Chem. Ind. 46, 315 T (1927).
- (33) HANCOCK: J. Soc. Chem. Ind. 47, 369 T (1930).
- (34) BEHRMAN, Ind. Eng. Chem. 21, 817 (1929).
- (35) FOULK & HANSLEY, Ind. Eng. Chem. 21, 817 (1929).
- (36) BIKERMAN, como (19).
- (37) Locomotive Cyclopedia, 1947 edition, SIMMONS - BOARDMAN Pub. Co. New York 1947, p. 350-351.
- (38) PARTRIDGE & PURDY: "Water Conditioning in Steam Generation". Ind. Eng. Chem. 31, 387-399 (1939).
- (39) PORTA, L.D.: Fig. A3.1, Ref (1).
- (40) THURSTON, E.F.: "Chemical Aspects of Boiler - Water Treatment". J. Inst. Fuel 39, 159-168 (1966).
- (41) RIVERS, H.M.: "Concentrating Films: Their Rôle in Boiler Scale and Corrosion Problems". Combustion, April 1952, p. 57.

- (42) GUNDERSON, L.O. & DENMAN, W.L.: "Polyamide Foam Inhibitors". *Ind. Eng. Chem.* 40, 1363-1370 (1948).
- (43) JACOBY, A.L. & BISCHMANN, L.C.: "Steam Bubble Formation". *Ind. Eng. Chem.* 40, 1360-1362 (1948).
- (44) PARTRIDGE, E.P. & SCHROEDER, W.C.: "Determination of Hydroxide and Carbonate in Boiler Waters". *Ind. Eng. Chem.* 4, 271-283 (1932) (Analytical Ed.)
- (45) STRAUB, F.G.: "Determination of Alkalinity in Boiler Waters". *Ind. Eng. Chem. (Anal. Ed.)* 4, 290-294 (1932).
- (46) ARMAND, L.: "L'entarrement des chaudières de locomotives à vapeur". *Rev. Gén. Ch. Fer*, juillet - Août 1943.
- (47) BARDWELL, R.C. & LAUDEMANN, H.M.: "Experience with Intercrystalline Cracking on Railroads". *Trans. ASME*, July 1942, 403-407.
- (48) ASME Transactions, July 1942.
- (49) PARTRIDGE, E.P.; KAUFFMANN, C.E. & HALL, R.E.: "Field Data from the Embrittlement Detector". *Trans ASME*, July 1942, 417-425.
- (50) SCHROEDER, W.C. & BERK, S.A.: "Summary of Papers Composing the Symposium on Embrittlement". *ASME Trans.* July 1942, 427-430.
- (51) BROOKS, R., CLARK, L.M. & THURSTON, E.F.; *Phil. Trans. Royal Soc.* 243, 145 (1950).
- (52) MARECAT: "Le traitement de eaux d'alimentation des chaudières de locomotives à la SNCF". *Rev. Gén. Ch. Fer* Nov 1948.
- (53) GINTRAC, L.: "Journée d'information sur le Traitement Interne Intégral des eaux de chaudières (TIA)". Document exposé de M. GINTRAC, Chef de la Section du Traitement des eaux au Centre Universitaire Méditerranéen, Nice, 21 juin 1956.

(54) KIEKEN & VIALA: "Le comportement des chaudières de locomotives soumises au Traitement Integral ARMAND (TIA)". Rev. Gen. Ch. Fer, 1965, 655-659.

(55) VORKAUF, H.: "Das Mitreißen von Wasser aus dem Dampfkessel". Forschungsheft 341, Beilage zu "Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens", Ausgabe B, Band 2, Feb. 1931.

(56) "Locomotive Cyclopedia", SIMMONS-BOARDMAN Publ. Co., Sixth Edition, New York 1922.

(57) American Association of Railroads Manual, Section A, page M-909. · También AAR Report on Locomotive Construction, Proc. 1926, Oct. Nov. Dec. 1951.

(58) PRATT, J.H. "Öl im Kesselwasser" (in english) Reports of the Association of Hawaiian Sugar Technologists, 13. Meeting 1934, p. 185/189.

También Wärme 59 (1936) H. 25, p. 429.

(59) TROSS, A.: "Neue Erkenntnisse und Konstruktions-Richtlinien auf dem Gebiet des Lokomotiv-Hinterkessels (Stehbolzen, Feuerbüsche, Stehkessel). Glaser Annalen, 1951.

(60) SNCF. Service du Matériel. Dir. des Études. Subdir. des essais de machines à vapeur: "Température des tôles de chaudière au cours des allumages et en marche normale". Juillet 1939. Ver también BOHL: "Les températures des foyers en cuivre et en aciers des locomotives". Rev. Gen. Ch. F. 1938, p. 313-318.

(61) HAMER, P.: "Some Principles of Modern Methods of Water Treatment for Steam Raising". Proc. I. Mech. E. May 1939, 251-273.

(62) GINTRAC, L., comunicac. personal.

(63) CLARK & HUNTER: "The System $\text{CaCO}_3 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$ at 159°C to 225°C and the Effect of Additions of Sodium Salts". J. Chem. Soc. 1935, 383-391.

(64) AAR Manual of Recommended Practice.

(65) DENMAN, W.L.: "US Patent 2,363,923 (1938)."

(66) GUNDERSON, L.O.: "US Patent 2,328,551 (1943)."

(67) BIRD, P.G. & JACOBY, A.L. "U.S. Patent 2,428,776 (1947)."

(68) DENMAN, W.L.: "U.S. Patent 2,439,797 (1948)."

(69) GUNDERSON, L.O. "U.S. Patent 2,442,768 (1948)."

(70) GUNDERSON, L.O. "U.S. Patent 2,461,730 (1949)."

(71) ICI, "British Patent 568,510 (1945)."

(72) ICI, "British Patent 568,318 (1945)."

(73) BODACH, C.M. & GUNDERSON, L.O.: "Organic synergists in Foam Control". Proc. Midwestern Power Conf. 13 (1951) pp 257-262.

(74) WILLIAMS, A.: "Carry-Over in Locomotive Boilers", ASME Trans. 1945, 197-211.

(75) PORTA, L.D.: "La Tracción de los ferrocarriles en el contexto de la crisis energética". Trabajo disertado en el XIII Congreso Panamericano de Ferrocarriles, Caracas, Nov. 1975.

(76) TOPHAN, J. I. Loco. E., 1939.

(77) FAGER E.P. & REYNOLDS, A.H.: "Absorption of Oxygen by Alkaline Tannates". Ind. & Eng. Chem. 21, 357-359 (1929).

(78) PORTA, L.D.: "Fugas en la placa tubular N°1 de las calderas humotubulares. Informe N°1 (preliminar). Borrador de trabajo". Documento del Dto. de Termodinámica del INTI, Buenos Aires 1980.

X
(79) WITTE, F. *calceolaria almona*

(80) PORTA, L.D. "Steam Engine Cylinder
Trisology" (1975, unpublished).

Índice.

- 1 Introducción
- 2 Tratamiento de aguas para locomotoras.
- 3 Tratamiento carbonático interno.
- 4 Contaminación del vapor.
- 5 Corrosión - Fragilidad caústica.
- 6 Aplicación del tratamiento.
 - 6.1 Productos químicos agregados.
 - 6.2 Lavados de caldera.
 - 6.3 La función del químico.
- 7 Resultados obtenidos en la práctica.
- 8 Consecuencias en orden al proyecto y la operación de locomotoras.

Apendices

- A1 Métodos de control a nivel "depósito de locomotoras".
- A2 Diseño de la placa tubular.
- A3 Cristalizadores.
- A4 Notas adicionales.

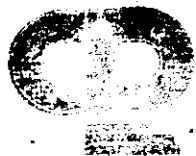
1 Introducción.

Este trabajo ha sido escrito como un capítulo de un libro en preparación por el autor, y cuyo título es "Ingeniería de Locomotoras de Vapor de Avanzada Frente a la Crisis Energética". Condensa su experiencia y su mejor conocimiento, mucho de lo cual ha sido tomado de la literatura técnica. Sin embargo, cree haber añadido su cuota de contribución al arte, especialmente en relación con la simplificación de su aplicación. Esta es ahora posible con sólo controles muy simples y gracias a una nueva filosofía que incorpora ideas muy osadas tales como "lo mejor es hervir una "sopa espesa" en la caldera que tenga muchos sólidos disueltos y en suspensión", etc.

La aplicación práctica ha sido llevada a cabo sólo en modesta escala en Argentina, cosa que, en la entonces prevalente política contraria a la tracción a vapor, se tradujo en enormes dificultades. Esto habla muy en favor del esquema propuesto, dado que ha soportado una confrontación con circunstancias extremadamente severas, la peor de las cuales ha sido la falta de una firme voluntad, por parte de los usuarios, de alcanzar un decidido éxito final.

El lector apreciará inmediatamente la preeminencia dada a la ... III

III-- a la ingeniería del tema dado que el autor es un ingeniero de desarrollo y no un químico. Cabe pensar de ha habido no poca dosis de suerte en la materialización de las osadas ideas que más adelante se describen; el programa de investigación y desarrollo que se detalla al final pinta claramente la necesidad de un más alto nivel en la fisicoquímica a fin de mejor consolidar los éxitos alcanzados en la práctica.



2 Tratamiento de Aguas para Calderas de locomotoras.

La ingeniería de segunda generación de locomotoras de vapor no puede ser concebida sin un tratamiento de aguas perfecto (*). Afortunadamente, Y NO TAL COMO SE PENSABA ANTERIORMENTE, (y aún hoy en no pocos círculos), ese ideal ha sido casi alcanzado siendo fácil acceder a él.

Las varias imperfecciones de un tratamiento no completamente satisfactorio pueden ser descritas como sigue:

- (a) La incrustación de las placas del hogar da lugar a más altas temperaturas en el metal, lo que causa fuertes sobrecalentamientos, tetones, fugas en los estays y juntas de los mismos, rajaduras en las soldaduras, erosiones, dilataciones no uniformes, pérdidas en la placa tubular, etc., para no hablar de serios disgustos para los operadores, fuerte mantenimiento, menor disponibilidad y confiabilidad, etc. Si se piensa en presiones mucho más altas (sea en hogares con placas planas con estays (PORTA (I)), o céntricas, --- III

(*) Generación a Vapor de Primera Generación es la que alcanzó su clímax en los años 50; de Segunda Generación es la que puede hacerse hoy incorporando los adelantos silenciosamente logrados en los últimos 25 años, y de Tercera Generación la que resultaría de un programa de investigación y desarrollo muy avanzado.

///---, las mismas son impensables a menos que pueda garantizarse una perfecta limpieza en todo momento.

La incrustación de los tubos da lugar a similares inconvenientes, lo que fuerza a adoptar una separación mayor entre tubos; esto reduce el área de pasaje de gas, la que es un parámetro muy importante en el diseño de la caldera.

Es bien sabido que el rendimiento de la caldera no se ve afectado por la incrustación, aun cuando fuere fuerte, en más de 2 ó 3%; pero esto, unido a la necesidad de incrementar el tiro, disminuye la óptima performance de la locomotora.

(b) la corrosión exige un (de otro modo innecesario) agregado al espesor del cuerpo cilíndrico (no en el caso de uniones remachadas); también da lugar a "pinchaduras" de tubos que se traducen en una menor disponibilidad, confiabilidad, etc. Es importante hacerse cargo de que cualquier fuga de agua, aun cuando fuere pequeña, se traduce en una seria reducción de la alta alcalinidad que requiere para un correcto tratamiento. Los gastos de mantenimiento se incrementan, por supuesto, con la corrosión. Las placas del tanque del tender requieren frecuentes parches y un sobreespe-
nor, todo lo cual agrega "fierro" ---///

III--- que es paseado de aquí para allá a costa de la carga que paga flete.

(c) la contaminación del vapor se extiende sobre un amplio rango que va desde una pequeño arraste que pasa desapercibido hasta fuertes arrastres que impiden a la locomotora desarrollar la potencia para la cual ha sido proyectada. En tanto que la gente que trabaja con las máquinas mira con disgusto los arrastres que aparecen en forma de visibles chorros de agua en la chimenea, no existe análoga conciencia sobre las pequeñas, imperceptibles, contaminaciones que afectan la perfecta pureza del vapor. A la larga, cosa que en una explotación intensa significa unos pocos meses de trabajo, se forman incrustaciones en los elementos sobrecalentadores; se produce un mayor desgaste en los aros de válvulas y pistones dada la naturaleza abrasiva de los cristales de CaCO_3 que provienen del agua de ca'dría; las temperaturas del metal de los sobrecalentadores se incrementan en un lugar a fisuras y corrosiones causadas por las cenizas arrastradas en estado pastoso; menor resistencia a la fatiga contra vibraciones y elementos "cristalinos" especialmente en las soldaduras; menor disponibilidad y confiabilidad;

--- III

III fugas en las juntas de los elementos con el colector; dilataciones desparejas en las distintas ramas de los elementos en razón de las mayores temperaturas; depósitos que impiden el libre movimiento de los conos de válvula y pistón en sus ranuras, lo que incrementa las fugas de vapor afectándose la potencia y economía de la máquina; rugosamiento de los pasajes de admisión y escape de vapor y disminución del área de pasaje e incremento de las pérdidas de carga, etc.

Después de lo que antecede, ¡es sorprendente que nadie haya dado una razonable explicación del hecho de que la performance se deteriora con el kilometraje!

El vapor imperceptiblemente contaminado, y padre de todas esas calamidades, también afecta los accesorios de caldera y pasajes de vapor; entorpece el comportamiento de los conos del ejector del feno al vacío, así como el de los delicados órganos del motor-pesor del feno de aire comprimido, con lo que se afecta el buen funcionamiento del conjunto del equipo de feno. Esto da lugar a feno que se arrastran, menor velocidad en el tren, falta de cumplimiento de los horarios, --- III

III-- aumento en el consumo de combustible y agua (lo que se traduce en paradas extras para tomar agua), erosiona las empacaduras de los vástagos de válvula, etc. Todas esas dificultades sólo pueden tener fin enviando la locomotora prematuramente a los talleres centrales para su reparación (no antes), si es que se quiere entrar en forzoso empleo en servicios secundarios dado que su performance general no es suficiente para garantizar los valores de diseño.

Hablado con rudeza, ese "envenenamiento" lento reduce en no menos de 10% el kilometraje entre grandes reparaciones y en 15% la potencia que es posible obtener al final de ese (reducido) kilometraje.

(d) La fragilidad cáustica produce roturas en una variedad de elementos: bulones, bridas, etc. para no mencionar las chapas de caldera. Tres son las condiciones que necesariamente deben darse en forma simultánea para que se induzca la fragilidad cáustica:

* una fuga de agua (*), tan pequeña como sea necesario para que se produzca una solución concentrada de NaOH;

(*) "fuga" es el concepto tradicionalmente empleado por suponerse que no hay ningún otro mecanismo de concentración, lo que no es cierto. Puede haber también concentración en una película evaporante.

- * fuertes tensiones en el punto en el que el agua se concentra, y
- * que el agua sea, por su composición, fragilizante.

En tiempos pasados ocurrieron desastres de distintas clases motivados por la fragilidad cáustica, siendo las uniones remachadas proclives a este tipo de fallas dado que ofrecen la posibilidad de que se den dos de las condiciones antedichas: (i) pequeñas, concentrantes, fugas y (ii) altas tensiones. No obstante, ha de verse que en la Argentina no se han conocido tales desastres, lo que se explica quizá por el hecho de que siempre se ha usado tanino (ver más adelante).

3. Tratamiento Carbonático Interno.

Los fenómenos fisicoquímicos que ocurren en la formación de incrustaciones han sido (y son) constantemente estudiados. Los nombres de HALL y STRAUB (2) a (10) son bien conocidos en razón de sus trabajos pioneros. THURSTON y GRAY (11)(12) también han hecho importantes contribuciones en este campo, las que han servido de base a la forma del tratamiento que aquí se presenta (*). Ambos autores han mostrado que si se mantiene un mínimo de 200 a 300 ppm de Na_2CO_3 en todo momento en el agua de caldera, no se forman ni incrustaciones ni corrosiones. Dado que normalmente un 50% de la alcalinidad total (como CaCO_3) se disocia, esto significa que ≈ 600 ppm de alcalinidad total debe siempre existir a título de mínimo absoluto (11), o, lo que es equivalente, unas 450 ppm de alcalinidad a la fenoftaleína. Estas relaciones son algo diferentes en el caso de aguas naturales que tienen exceso de alcalinidad (bicarbonatadas) dado que la presión parcial del CO_2 en la cámara de vapor desplaza el equilibrio hacia una menor ionización del Na_2CO_3 (13). Ha de notarse que el clásico ensayo con fenoftaleína y heliantina da falsos resultados en las aguas de caldera, especialmente en lo que se refiere al contenido de carbonatos (14). En otras ---/11

(*) se omitió, por conocida, la descripción del tratamiento interno carbonático clásico.

///--- palabras, lo que se da como "carbonato" no es la cantidad que realmente está contenido en el agua que está dentro de la caldera, sino un modo de hablar.

Un punto en el que THURSTON y GRAY insisten (11)(12) es el de la necesidad de que el lodo de CaCO_3 sea muy móvil y fácilmente redispersable después de un asentamiento prolongado. GRAY (11) estableció que, cuando la humedad del depósito decantado excede de 75% luego de dos días de asentamiento, se da una buena movilidad. En esto, se encontró que la presencia de Mg era esencial, a tal punto que no se vaciló en recomendar el agregado de tanta pureza magnésica cuanto fuera necesaria para alcanzar esa movilidad. La cantidad de Mg necesario viene dada por la ecuación

$$X_s = \frac{100}{\text{CaO}} (0,46 \text{ MgO} - 0,62 \text{ SiO}_2) \geq 7$$

(las cantidades han de calcularse como % en peso).

Un valor $X_s = 4$ debe considerarse como un mínimo absoluto. En la práctica, la mayoría de las aguas naturales contienen Mg y no consecuencia no habría porqué agregar magnesio.

Sin embargo, y conforme a la experiencia práctica, del autor, el agregado de taninos y de hexametáforato de Na permite bajar el valor del índice X_s a menos de 4.

---///

///-- El lodo resultante se caracteriza porque se asienta rápidamente en una masa esponjosa, la que, aun cuando sea evaporada a sequedad, es fácilmente redispersable.

Contrariamente a lo que ocurre con las calderas fijas, las calderas de la locomotora son alimentadas con aguas de composición muy variable. Tampoco pueden ser objeto de un seguimiento químico adecuado. Por ello no hay otra alternativa que permitir que la alcalinidad del agua de caldera juegue dentro de límites muy amplios por encima de un mínimo absoluto de 300 ppm de carbonato en forma de tener siempre una reserva de alcalinidad que sirva de "colchón" a la variable dureza del agua de alimentación. Esto trae aparejados un incremento en el TSS (total de sólidos solubles) y también en la cantidad de sólidos en suspensión, condiciones ambas favorables a la contaminación del vapor; esta fue una dificultad que apareció inicialmente con la aplicación del TIA en Francia.

Es una gran fortuna, a esta altura de las cosas, que los nuevos y poderosos anti-bullicivos que desde 1940 se hicieron hayan entrado en la escena. Esto constituye un hito, una frontera, tanto en la teoría cuanto en la aplicación del tratamiento de aguas, la que puede dividirse en dos eras:

- antes de los anti-bullicivos, y
- después de los anti-bullicivos.

Tal como se veía más adelante, los anticiclucios permiten jugar con la composición tanto del agua de caldera cuanto de alimentación dentro de límites hasta ahora considerados sacrilegos.

THURSTON y GRAY han asimismo propuesto un mecanismo según el cual la dureza es precipitada en la masa de agua de la caldera.

Durante el proceso de mezcla y simultáneo calentamiento, el agua que entra se sobresaatura de CaCO_3 . Este estado inestable se resuelve por la formación de nuevos núcleos de cristalización y por el crecimiento de los cristales existentes.

Es por ello que la introducción debe hacerse por debajo del nivel de agua conforme fuera adoptado por los ferrocarriles franceses. En ese caso, el agua que entra gana simultáneamente temp. y alcalinidad durante el proceso de mezcla que se da con el agua fuertemente alcalina de la caldera.

THURSTON (15) lo ha expresado así:

" Es conveniente exponer lo que se sabe ahora
" sobre los mecanismos de la formación de incrus-
" taciones en las calderas y su relación con los
" resultados de las experiencias hechas en cal-
" deras experimentales. En el caso de la
" mayor parte de las calderas de vapor presión,
" las razones que antes se daban para explicar
" la formación de incrustaciones en las super-
" ficies de calefacción no eran tales. Es así
" que las incrustaciones no se forman princi-
" palmente por evaporación, como que. ---//

III--- en muchas calderas en servicio cuanto
de laboratorio, tanto las superficies no calen-
tadas cuanto las calentadas se reciben de
iguales depósitos. Ello prueba que esa
formación de incrustaciones no se debe (según
se suponía) principalmente a la menor solubili-
dad de las sustancias incrustantes en la
película líquida calentada por contacto con el
metal caliente. La formación de incrusta-
ciones en las calderas es en gran parte una
manifestación del estado de sobrecaturación
del agua de la caldera que resulta de la
mezcla del agua de alimentación que contiene
calio y magnesio con un precipitante tal como
el Na_2CO_3 o el NaOH o, en el caso de calderas
de más alta presión, el fosfato de sodio.
Se da una nucleación y también un crecimien-
to de los cristales, parte sobre el material
adherido a las paredes, parte sobre las parti-
culas en suspensión en el agua de caldera.
A veces, las partículas que se mueven libremente
(en la masa líquida) al tocar una superfi-
cie quedan adheridas, ayudando (luego) el
crecimiento cristalino a cementarlas en una
masa sólida. En tal situación, es evidente
que todo lo que afecte los procesos de nuclea-
ción y crecimiento puede afectar los de forma-
ción de incrustaciones: este es el modo según
el cual se supone actúa el magnesio. En
su ausencia, el CaCO_3 precipita en las cal-
deras en forma de cristales relativamente
grandes, en su mayoría de calata. En ---III

" III... su presencia se forman pequeños cristales,
" de calita en suspensión, los que compiten
" con el material adherido a las superficies de
" calefacción para atrapar el calcio entrante,
" dando así lugar a la formación de un
" lodo abundante y a poca incrustación. ----
" Se sabe (51) que los iones de magnesio
" influyen fuertemente en la cristalización de
" la calita. (----) La sobresaturación varía
" mucho de lugar a lugar (en la caldera), así
" como en el tiempo, lo que depende mucho
" de la forma en que se hace la mezcla
" en la zona de introducción."

Esta cita de THURSTON debe ser complementada con otra del mismo autor en la referencia (15):

" La observación (en la caldera de laboratorio)
" de que las aguas de alimentación muy blan-
" das no responden tan convincentemente al
" tratamiento basado en el magnesio (*), ha
" encontrado sólo una confirmación parcial
" en las calderas en servicio. En este caso,
" sólo cuando la dureza era realmente muy
" baja la adición de magnesio no mostró
" ninguna mejora apreciable; sin embargo,
" la velocidad de formación de incrustaciones
" era en todo caso muy pequeña." Se sugiere
" porque la cantidad de material incrustante
" era también pequeña.

Se deduce, de lo que precede, --- III

(*) (propuesto por THURSTON & GRAY, de la ICI).

